

FORTIDENS KLIMA PRÆGER

Af Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab



**DET FRIE
FORSKNINGSRÅD**
DANISH COUNCIL
FOR INDEPENDENT
RESEARCH

Artiklen bringes i samarbejde med Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers.

Det Frie Forskningsråd dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Det Frie Forskningsråd består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers er professor ved Danmarks Tekniske Universitet, Lone Gram.

Jens Christian-Svenning, har ledet forskningsprojektet STABFOR finansieret af Det Frie Forskningsråd. Læs mere på detfrieforskningsraad.dk

Antallet af arter af træer i en skov og hvordan de er beslægtet kan afspejle klimaet for flere millioner år siden, viser Jens-Christian Svennings forskning. At forstå klimaets langtidseffekter på økosystemer er bl.a. vigtig for at kunne nuancere diskussionen om, hvordan vi bedst forvalter vores fælles natur.

For ca. 2,6 millioner år siden trådte jorden ind i den kvartære istidsperiode som kulmination på en lang nedkølingsperiode i jordens klima, der var startet mange millioner år tidligere. Siden har klimaet været præget af dramatiske skift mellem kolde istider, hvor ismasser breder sig over store dele af den nordlige halvkugle, og varme mellemistider, hvor meget af isen smelter bort igen.

For livet i de berørte områder har de voldsomme klimaændringer været en udfordring. I takt med at isen bredte sig over landskabet, trængtes både dyre- og plantearter mod varmere himmelstrøg. Nogle arter overlevede i refugier sydpå,

mens andre bukkede under og uddøde. Da isen smeltede bort kunne arterne igen sprede sig fra deres tilflugtssteder til de nu isfrie områder, som de i sin tid var blevet fordrevet fra.

Men det var langt fra alle arter, der lykkedes med det. Fx ser vi ikke mammuttræer, ædelcypres og magnolia vokse vildt i den europæiske natur i dag, selvom klimaet passer fint til dem.

»Hvis man ser på nutidens økosystemer, bærer de således i deres struktur stadig i høj grad præg af de klimaændringer, der satte ind for 2,6 millioner år siden«, fortæller Jens Christian-Svenning, der er professor

ved Bioscience ved Aarhus Universitet. Han har ledet forskningsprojektet STABFOR finansieret af Det Frie Forskningsråd, hvor han med sine kolleger har undersøgt, hvordan fortidens klima har sat sig spor i verdens skove. Det spørgsmål er ikke kun af akademisk interesse, idet denne viden også kan bruges til at forudsige, hvordan skovene vil reagere på fremtidige klimaændringer og spiller ind i en højst nutidig diskussion om forvaltningen af vores natur.

Arven fra fortidens klima

Selv om det er en trivial konstatering, at enhver organisme eller et økosystem er et produkt af en lang historie, så påpeger Jens-Christian Svenning, at betydningen af histori-

VERDENS SKOVE

Jens-Christian Svenning er professor ved Bioscience, Aarhus Universitet, hvor han forsker i grundvidenskabelige spørgsmål vedr. Jordens biologiske mangfoldighed og samspillet mellem mennesker og natur.

Han har publiceret mere end 200 videnskabelige artikler i nogle af verdens førende tidsskrifter, og han har modtaget en række udmærkelser for sit videnskabelige arbejde. I 2014 modtog han en Eliteforskerpris fra Uddannelses- og Forskningsministeriet, og i april 2016 modtog han som den første Dronning Margrethe II's Videnskabspris, som er en pris indstiftet af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab i anledning af Dronningens 75 års fødselsdag.



Foto: Lars Kruse

en tit overses, når man fortolker eller studerer et økosystem som en skov.

»Man vil være tilbøjelig til at tro, at det, der først og fremmest er styrende for økosystemets struktur og funktion, er de nuværende "rammevilkår" som temperatur, regnmængde, jordbundsforhold og tilgængelige næringsstoffer. De faktorer er selvfølgelig også vigtige, men i virkeligheden kan "arven" fra fortidens klima være en mindst lige så vigtig faktor, når man vil forstå, hvorfor økosystemer ser ud og virker, som de gør«, siger Jens-Christian.

Sammen med sine kolleger har han bl.a. vist, at når man kigger på artsrigdommen og artssammen-

sætningen af træer i skove i både tempererede og tropiske områder, finder man en sammenhæng med, hvor stabilt klimaet har været. Med andre ord findes der flere arter i områder, der har været klimatisk stabile over lang tid end i områder, hvor klimaet har varieret meget. Effekterne viser sig både i tidsspektiv tilbage til istidernes begyndelse – og til variationerne mellem istider og mellemistider – men også endnu længere tilbage i tiden. »Fx viser det sig, at antallet af arter af palmer i forskellige dele af Afrika er højere de steder, hvor klimaet allerede for flere millioner år siden var relativt vådt og dermed fordelagtigt for denne gruppe af tørkefølsomme planter«, siger Jens-Christian.

Som en del af projektet har Jens-Christian Svenning og kolleger kigget på uddøen af træer på den nordlige halvkugle. I dag er mangfoldigheden af træarter langt større i Nordamerika end i Europa. Ca. halvdelen af de nordamerikanske arter tilhører træslægter, der i dag ikke findes i Europa, mens de europæiske arter derimod langt overvejende kommer fra træslægter, der også forekommer i Nordamerika. Langt de fleste af de særlige nordamerikanske slægter levede også i Europa før istiderne, men blev efterfølgende udryddet fra kontinentet.

Istiderne ramte Europa særligt hårdt, idet de sydlige dele tørrede ud, samtidig med at de nordlige

Foto: Shutterstock

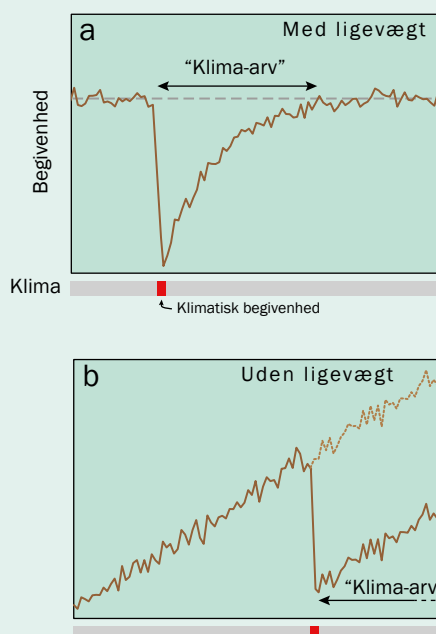


Figur efter Eisenhardt, W.L. et al (2015) Ecology Letters, 18

Kortet viser de fire fugtige, tempererede skovregioner på den nordlige halvkugle: det vestlige Nordamerika, det østlige Nordamerika, Europa og det østlige Asien. Den stiplede linje indikerer den maksimale udbredelse af gletschere under istiderne i Kvartær-tiden. Søjlediagrammerne viser antallet af træslægter i de respektive regioner i tiden før istiderne satte ind (sorte søjler) og i dag (hvide søjler).

Figurene viser hypotetiske eksempler på, hvordan klimatiske begivenheder kan sætte sig spor i biodiversiteten. Klimatiske begivenheder vil have en midlertidig effekt men potentielt langvarig effekt på fænomener, der svinger omkring en ligevægtssituation (a) – det kan fx være artsantal, størrelsen på arters udbredelsesområder mv.

Til sammenligning vil en klimatisk begivenhed have en permanent effekt på udkommet af en kumulativ proces uden ligevægt, som fx hvis artsrigdommen i en region akkumulerer over tid via en konstant rate (artsdannelse minus uddøen). I dette eksempel er væksten af egenskaben positiv i baggrundsklimaet, mens den kortvarigt er stærkt negativ under den klimatiske begivenhed. Efter begivenheden er egenskaben til enhver tid lavere end den havde været, hvis klimaet havde været uforandret hele perioden (indikeret med stiplede linje).



Figurer efter Svenning, J.C. et al (2015) Annu. Rev. Ecol. Syst. 46

blev meget kolde og i vidt omfang isdækkede. Nordamerika slap langt mildere gennem istiderne og oplevede langt mindre uddøen. Det skyldes bl.a., at det har været lettere for træerne at overleve i refugier på det nordamerikanske kontinent, fordi der rent geografisk ligger meget mere landmasse langt mod syd. Samtidig har klimaet også været mere fugtigt.

Selektiv uddøen

Det var ikke tilfældigt, hvilke træslægter der uddøde under istiden, idet Jens-Christian Svenning og kolleger har kunnet vise en stærk sammenhæng mellem, hvilke træer

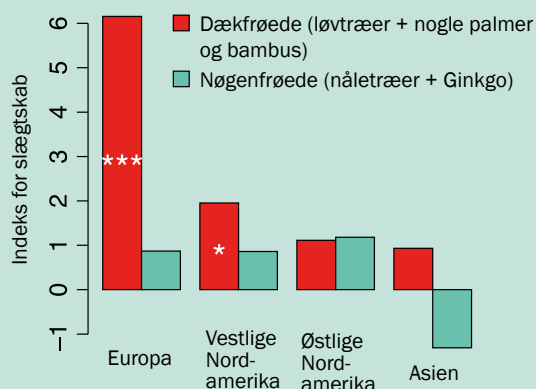
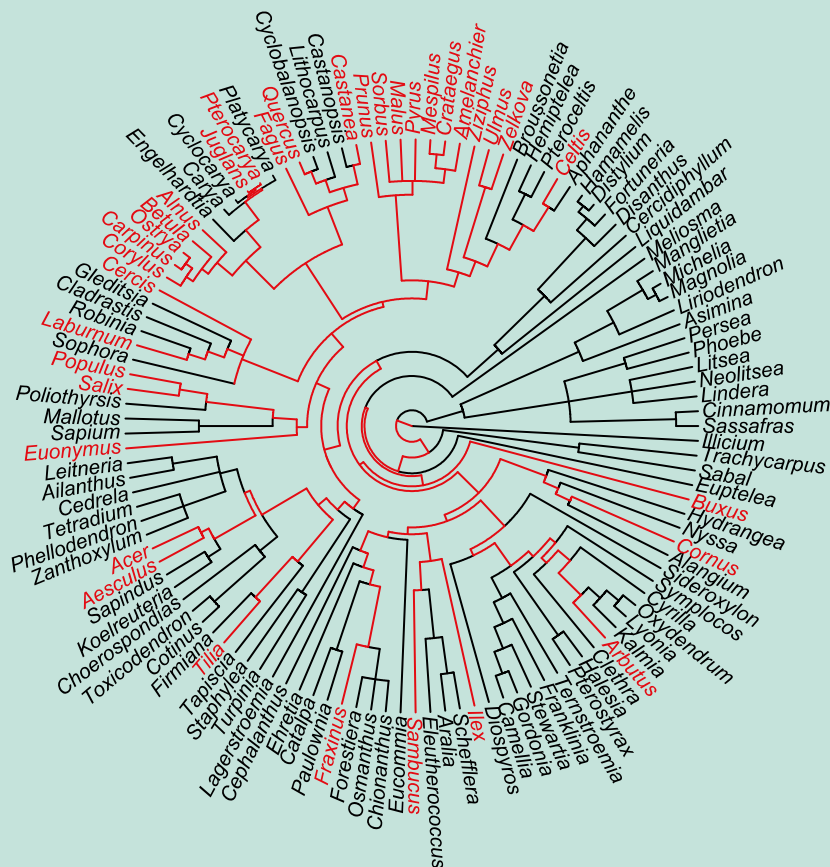
der uddøde og deres kuldetolerance. Hvad værre er, så er denne kuldetolerance heller ikke tilfældigt fordelt over grenene på træernes store slægtskabstræ. Det viser sig, at de slægter, der uddøde, klumper sig sammen i grupper af nærtbeslægtede slægter. Udover at de europæiske skove har oplevet et tab i artsdiversitet pga. istiden, har de således også oplevet et tab i det, der i fagsproget kaldes *fylogenetisk diversitet*.

Den fylogenetiske diversitet udtrykker, i hvilket omfang de tilstedeværende arter eller slægter er beslægtet med hinanden. Alle arter

er ordnet i slægter, som er et mere overordnet niveau inden for den systematiske inddeling af organismerne i naturen end en art. To arter tilhørende samme slægt er således tættere beslægtet end to arter tilhørende to forskellige slægter. Nogle slægter er i dag repræsenteret af ganske få arter – det gælder fx tempelet træ (*Ginkgo biloba*), der er den eneste nulevende art af slægten *Ginkgo*, der tidligere talte mange flere arter, og som ingen nære nulevende slægtninge har. Hvis *Ginkgo biloba* uddør, vil en masse unik evolutionær information derfor gå tabt, da denne art så at sige alene bærer genetisk information om hele

En grafisk repræsentation af slægtskabstræet for træslægter af dækfrøede træer (angiospermer) i tempererede skove i Europa. Slægter med rød skrift er nulevende, mens slægter med sort skrift er uddøde i forbindelse med de kvartære istider. Det fremgår tydeligt, at de overlevende slægter klumper sig sammen i slægtskabstræet. Alt sammen viser det, at det ikke er tilfældigt, hvilke slægter der overlevede istiderne.

Figur efter Eiserhardt, W.L. et al (2015) Ecology Letters, 18.



Søjlediagrammet viser, at de overlevende slægter af træer i næsten alle regioner er relativt nærtbeslægtede i forhold til puljen af slægter, før istiderne satte ind (positive værdier). Især for dækfrøede træer i Europa og det vestlige Nordamerika er dette signifikant.

Figur efter Eiserhardt, W.L. et al (2015) Ecology Letters, 18.

sin slægts historie.

At istiderne medførte et tab i fylogenetisk diversitet betyder populært sagt, at klimaændringerne ikke bare klippede tilfældige kviste af livets træ, men målrettet savede hele grene af.

Effekter på skovens funktion

Et interessant spørgsmål er, om den selektive uddøen, som istiderne har været skyld i, også kan spores i den måde, skovene fungerer på i dag. Man ved nemlig, at den fylogenetiske diversitet er en vigtig parameter til at forudsige, hvordan økosystemer fungerer.

»Det skyldes, at nærtbeslægtede arter vil være tilbøjelige til at have samme funktion i økosystemerne. Derfor vil det også i princippet have en større effekt på et økosystem, hvis en hel gruppe af nærtbeslægtede arter forsvinder, end hvis det blot er et tilfældigt udvalg af arter«, siger Jens-Christian.

I projektet har han sammen med sine kolleger derfor undersøgt, om arven fra fortidens klima også kan spores i det, man kalder den funktionelle diversitet. Enhver art kan beskrives ved nogle funktionelle træk, som siger noget om, hvordan den relaterer sig til og påvirker mil-

jøet – fx er størrelse et meget vigtigt funktionelt træk. Forskerne har haft særligt fokus på funktionelle træk, der regnes som centrale for planters økologiske funktion, nemlig plante-højde, blad-karakteristika (ikke mindst forholdet mellem bladens areal og vægt) samt størrelse på frøene – træk som tilsammen beskriver planters relation til stress og forstyrrelse.

»Vores undersøgelser viser et blandet billede og peger på, at der er behov for at få en bedre forståelse af, hvornår og hvordan fortidens klima påvirker den funktionelle diversitet«, siger Jens-Christian. »Sammenligner vi den funktionel-



Øverst: Foto fra de artsrige skove i Great Smoky Mountains i det østlige Nordamerika, hvor man her bl.a. ser skarntydegran (Tsuga), en slægt der blev udryddet i Europa af istiderne.

Nederst: Blomster på tulipantræ (*Liriodendron*). Denne slægt blev udryddet i Europa under istiderne, men overlevede i det østlige Nordamerika og Kina. Siden er den genindført til brug i haver og parker. Fotos: Jens-Christian Svenning

le diversitet hos træer i Europa og Nordamerika, ser vi generelt relativt små forskelle sammenlignet med artsrigdom og fylogenetisk diversitet. Så den overordnede effekt af istiderne på de to regioner har ikke været så stor. Til gengæld har vi dokumenteret klare effekter indenfor Europa og indenfor Nordamerika, hvor planters funktionelle diversitet er højere, jo tættere man kommer på istidsrefugierne – dvs. at man finder en større spændvidde i den funktionelle variation i plantesamfund, der hvor det har været nemmere for arterne at genindvandre«.

Et åbent spørgsmål

Umiddelbart havde Jens-Christian Svenning forventet at se et kraftigere signal fra fortidens klima i skovens funktionelle diversitet, når forskningen nu har vist en stærk effekt på artsdiversiteten og den fylogenetiske diversitet. Men han opfatter det som et åbent spørgsmål, som det vil kræve flere undersøgelser at få ordentlig belyst. »Først og fremmest er antallet af studier stadig for lille til at vurdere, om betydningen af fortidens klima varierer mellem områder, plantegrupper og funktionelle træk. Vi har desuden den udfordring, at datagrundlaget vedrørende funktionelle træk – trods stor forskningsindsats over de seneste årtier – stadig begrænser os. Selv de bedst studerede funktionelle træk er kun målt for et mindre tal af verdens plantearter, og mange potentielt vigtige træk kendes langt dårligere. Det er derfor muligt, at denne ufuldstændige dækning af den funktionelle diversitet bidrager til de noget blandende resultater«, siger han. Jens-Christian Svenning forklarer, at træers funktion bestemmes ved mange flere træk end dem, som er inkluderet i dette forskningsprojekt. Fx er ærteblomstfamiliens evne til at fiksere luftens kvælstof i rodknolde via symbiose med bakterier en egenskab med meget stor økologisk betydning. Det er en egenskab, som også findes hos træer. På listen over invasive træarter i Europa finder vi således bl.a. robinie (også kaldet uægte akacie), som tilhører

ærteblomstfamilien. Mange andre træk vdr. rødders funktion og samliv med andre organismer er meget dårligere kendte.

Hvad er en hjemmehørende art?

En skov med en høj funktionel diversitet burde alt andet lige være mere produktiv end en skov med lavere funktionel diversitet, fordi træer med forskellig funktion kan vokse tæt sammen og samlet set udnytte de tilgængelige ressourcer mere optimalt.

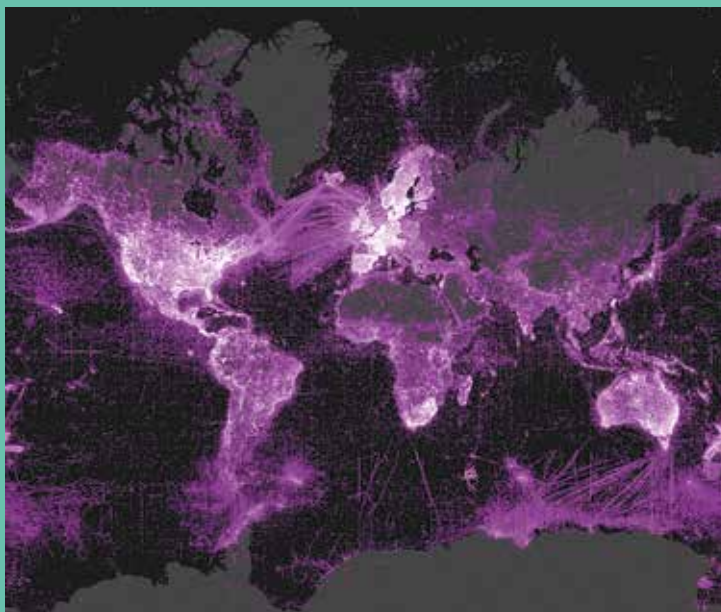
»Man kan sige, at forstfolk længe har været klar over, at de europæiske skove måske ikke var "optimerede" i forhold til, hvad man kan producere under de herskende klimatiske forhold. Derfor har de gennem tiden introduceret arter som douglasgran og robinie fra Nordamerika til Europa og arter som ædelgran, lærk og ahorn fra Syd- til Nordeuropa, hvor de har vist sig at klare sig glimrende og være mere produktive end de hjemmehørende arter i mange tilfælde«, siger Jens-Christian. Han nævner som eksempel, at de højeste træer i Danmark nu er douglasgraner og ikke træer fra hjemmehørende arter. Det er her værd at bemærke, at fleste af disse nordamerikanske typer af træer faktisk kun mangler i Europa, fordi de uddøde i forbindelse med istiderne.

Resultaterne af Jens-Christians Svenning og kollegers forskning kan derfor give næring til en diskussion om forvaltning af den danske natur. »Når vi snakker om naturligt hjemmehørende arter er det ofte et politisk defineret begreb, som anskuer naturen ud fra en meget kort tidshorisont og et politisk defineret landområde uden naturmæssig mening (fx Danmark). Hvis man i højere grad betragter økosystemer som dynamiske med en meget lang historie og typisk også som dele af store biogeografiske regioner, vil man få en anden og mere nuanceret diskussion – fx om hvilke invasive arter, det kan betale sig at bruge en masse energi på at bekæmpe«, fortæller Jens-Christian. »Fx omtales arter som rødgran, ædelgran og

På jagt i datahavet

Når Jens-Christian Svenning og kolleger arbejder med at undersøge, hvordan fordelingen af træer på Jorden relaterer sig til fortidens klima, tager han ikke selv på feltarbejde for at registrere arternes udbredelse eller måle fx højden eller frøstørrelsen på træerne. I stedet foregår det meste af arbejdet foran computeren, hvor han trækker på den enorme mængde data, der i dag findes i store internationale databaser. Fx gøres store mængder af data om arters udbredelse tilgængeligt via den internationale forskningsinfrastruktur *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), der holder til på Københavns Universitet. Data meldes ind til denne database fra fx naturhistoriske museer over hele verden. Andre vigtige kilder til udbredelsesdata er en række atlasprojekter for forskellige organismegrupper (fx planter, sommerfugle, pattedyr) i forskellige dele i verden. Andre internationale projekter samler og giver adgang til andre vigtige typer data, fx genetiske data og data vedrørende arters funktionelle træk. Det er en stor opgave at opbygge og kvalitetssikre sådanne Big Data vedr. biodiversiteten, og Jens-Christian deltager i flere internationale arbejdsgrupper, der netop har til formål at opbygge sådanne datakilder, bl.a. Botanical Information and Ecology Network (BIEN), som er et Big Data-projekt for planter i Nord- og Sydamerika.

En anden kilde til information er satellitter, som i dag sender en konstant strøm af data, som kan være målinger af temperatur, nedbør eller skovdække. Den vigtigste kilde til data om fortidens klima til Jens-Christian og kollegers analyser



Visualisering af de mere end 540 mio. datapunkter, der i dag findes i Global Biodiversity Information Facility. Lyse farver indikerer høj tæthed af datapunkter.

kommer fra klimaforskeres simuleringsmodeller for klimaet på forskellige nøgletidspunkter i fortiden.

Hele denne indsats med at indsamle data er selvfølgelig kun værdifuld, hvis man har metoder, der håndterer de store mængder data og kan bruges til at afdække interessante mønstre i syndfloden af data. Jens-Christian samarbejder i den forbindelse med bl.a. forskere på MADALGO (Massive Data ALGOrithmics) ved Aarhus Universitet, som netop beskæftiger sig med at udvikle metoder til at håndtere massive datamængder, og hans forskergruppe har opbygget stor ekspertise i analyse af store mængder komplekse økologiske data. Ofte er analyserne geografiske analyser, hvor man arbejder med rumligt definerede analyseenheder, fx felter på 50 × 50 eller 100 × 100 km, og ser på biodiversitets- og miljømål for disse enheder.

ahorn, der er indført fra andre dele af Europa, som fremmede arter, der er problematiske set fra et naturperspektiv. Men reelt har de en lang historie sammen med de hjemmehørende danske arter og findes jo også sammen med dem i andre europæiske lande. Grunden til, at de manglede i Danmark, før de blev indført, er blot mangel på tid til at genindvandre efter sidste Istid.»

Overordnet gør de historiske effekter på skovenes artsrækkende, fylogenetiske og funktionelle træk, at man ikke kan gå ud fra, at de rummer den maksimalt mulige biodiversitet eller har den optimale funktion i forhold til klima, jordbund mm. Det betyder, at vi bør se nuanceret på fremmede arter ikke bare i forhold

til økosystemfunktioner som produktivitet, men også naturmæssigt, mener Jens-Christian Svenning. »Nogle arter kan have en negativ effekt på de hjemmehørende arter, men mange arter vil have neutrale eller ligefrem positive effekter. Det vil selvsagt være afgørende, hvordan vi anvender arterne: Fx vil produktionsorienteret plantagedrift typisk være problematisk for den lokale biodiversitet, uanset arternes herkomst,« siger han.

Langtrækkende konsekvenser

I det helt store perspektiv kan resultaterne af Jens-Christian Svennings forskning få betydning for den måde, vi tænker om vores påvirkning af verdens skove. Det er således tankevækkende, at klimatiske

begivenheder kan have betydning for økosystemerne mange hundrede tusinder eller endog millioner år ud i fremtiden, fordi det ikke er tilfældigt hvilke grupper af træer, der bliver påvirket. »Når vi mennesker nu er i gang med at ændre på det globale klima, vil det altså kunne sætte sig aftryk, der rækker meget længere ud i fremtiden, end de fleste har fantasi til at forestille sig,« slutter Jens-Christian. ■

Videre læsning:

Eiserhardt, W.L. et al (2015): Climate-driven extinctions shape the phylogenetic structure of temperate tree floras. *Ecology Letters*, 18: 263–272

Svenning, J.-C. et al (2015): The Influence of Paleoclimate on Present-Day Patterns in Biodiversity and Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 46:551–72



**DET FRIE
FORSKNINGSRÅD**
DANISH COUNCIL
FOR INDEPENDENT
RESEARCH