

Langtidsmålinger viser overraskende resultat:

Bøgeskov øger kulstofoptagelsen med tiden

Det har overraskende vist sig, at skoven binder mere og mere kulstof med tiden og altså virker som et stigende dræn for kuldioxid i atmosfæren. Det forventes ellers, at ældre skovøkosystemers produktion falder med alderen og dermed også kulstofbindingen.

Af Kim Pilegaard, Andreas Ibrom og Teis Nørgaard Mikkelsen, Atmosfærisk miljø, Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Træer og jorde i skove indeholder størstedelen af jordens land-baserede kulstoflagre. Ændringer i træers vækstmønstre kan derfor have stor indflydelse på atmosfæriske processer, biogeo-kemiske cykler, klimaændringer og biodiversiteten. Gennem de seneste årtier har de globale landbaserede økosystemer optaget og tilbageholdt en stigende mængde kuldioxid fra atmosfæren og derved medvirket til at mindske den menneskeskabte stigning i atmosfærens kuldioxidkoncentration. Uden denne mekanisme vil de afledte klimaændringsprocesser sandsynligvis forløbe hurtigere.

Overraskende resultater

DTU har igennem de seneste 20 år målt kuldioxid-udvekslingen mellem atmosfæren og en gammel bøgeskov nær Sorø i en højde på ca. 20 m over de 30 m høje bøgetræer ved hjælp af en mikro-meteorologisk metode. Mønstret i udvekslingen følger årstiderne med afgivelse af kulstof om vinteren, når der ikke er blade på træerne, og optagelse om sommeren, figur 1. Det har overraskende vist sig, at skoven binder mere og mere kulstof med tiden og altså virker som et stigende dræn for kuldioxid i atmosfæren. Det forventes ellers generelt set, at ældre skovøkosystemers produktion falder med alderen og dermed også kulstofbindingen. På figur 2 ses, at netto-udvekslingen af kulstof er steget meget kraftigt gennem en periode på 20 år, fra omkring 30 gram/m²/år i midten af 1990'erne til omkring 380 gram/m²/år. Der er selvfølgelig variationer fra år til år, som skyldes variationer i temperatur, nedbør, stormfald og pleje, som indbefatter fældning af træer. Men over de 20 år er kulstofbindingen i gennemsnit steget med 19 gram/m²/år.

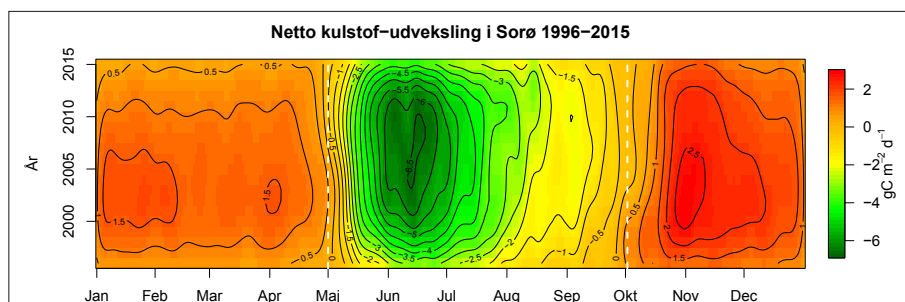
Nettoudveksling

Hvordan er en så stor stigning i kulstofbindingen mulig? Stigningen skyldes, at det, der måles over skoven, er en netto-udveksling af to modsatte processer for hele skovøkosystemet: primærproduktionen, som er planternes fotosyntese, der indbygger atmosfærens kulstof som energilager i planterne, og respirationen som foregår i alle skovens levende organismer. Denne proces danner energi til organismene og frigør samtidig kulstof til atmosfæren. En stimulering af fotosyntesen på f.eks. 10-15% og en hæmning af respirationen på f.eks. 10-15% vil kunne forklare den store ændring i nettoudvekslingen. Det er dog svært at forestille sig, at denne stigning i systemets kulstofdræn vil fortsætte i mange år frem, da der naturligt vil være forskellige biologiske begrænsninger på mange af de involverede processer.

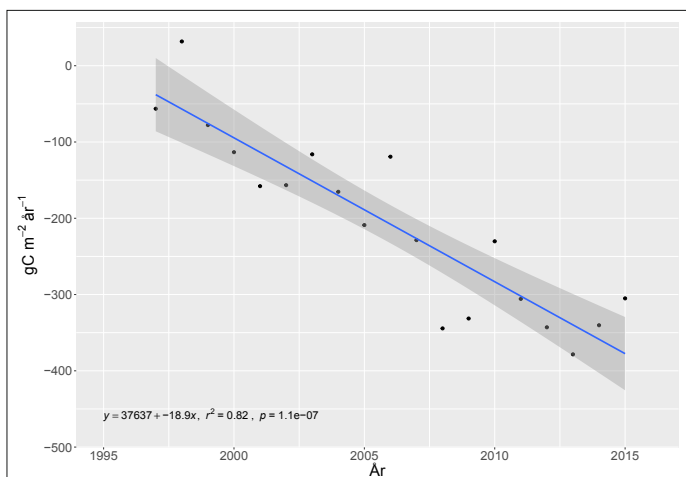
Forklaringen

Hvad er så forklaringen på den dramatiske ændring? Vi kan ud fra vores data se, at vækstsæsonen er blevet længere, forstået på den måde, at bladene er aktive over en længere periode, og dermed øges den samlede fotosyntese. Derimod har perioden med blade på de løvfældende træer ikke ændret sig over de 20 år, LP, figur 3. Det vil sige, at der er sket noget med skoven og/eller det omgivende miljø, som stimulerer bladernes fotosynteseaktivitet, før de falder af træerne. Som det ses af figur 3, er kulstof-optagelsesperioden (CUP) øget med én dag om året over 20 år.

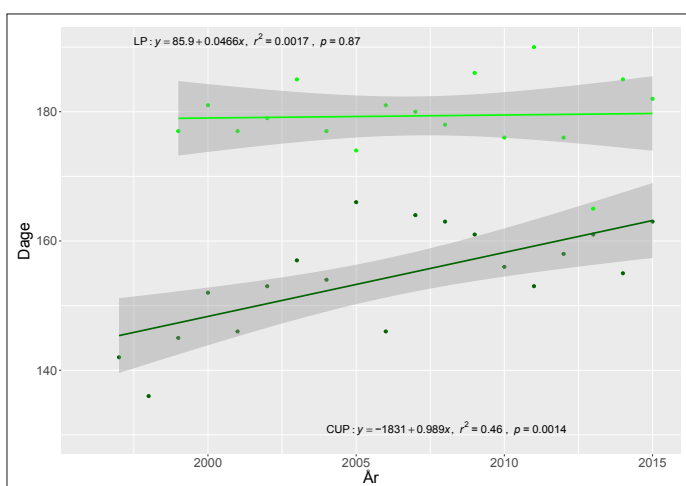
Forlængelsen af vækstsæsonen kan forklare omkring halvdelen af den årlige forøgede binding af kulstof. De processer, der forlænger vækstsæsonen og øvrige processer, der er årsag til den øgede binding af kulstof, er endnu ikke fuldt opklarede. For at blive i stand til at forudsige styrken og fordelingen af bindingen af kulstof i de landbaserede økosystemer kræves mere viden. Vores hypoteser er, at den resterende del af bindingen kan



Figur 1. Konturplot af udvekslingen af kulstof med bøgeskoven i perioden 1996-2015. De røde og orange farver angiver tab af kulstof til atmosfæren, de gule og grønne farver angiver optagelse af kulstof af økosystemet (fjernelse fra atmosfæren angives som negative værdier). De hvide stiplede linjer angiver hhv. starttidspunktet og sluttidspunktet for nettooptag af kulstof i gennemsnit over den 20-årige periode. På grund af de anvendte udglatningsalgoritmer er værdierne i kanten af plottet ikke nødvendigvis retvisende.



Figur 2. Den årlige nettoudveksling af kulstof mellem atmosfæren og skovøkosystemet over 20 år. Negative værdier viser kulstofoptagelse i økosystemet (fjernelse fra atmosfæren). Det gråtonede område indikerer 95% konfidensintervallet for regressionslinjen, hvis hældning er stærkt signifikant forskellig fra 0.



Figur 3. Længden af kulstof-optagelsesperioden (CUP, mørkegrønne symboler) og dage med blade på træerne (LP, grønne symboler) set over 20 år. Det gråskraverede område viser 95% konfidensintervallet for regressionslinjerne. Kun hældningen for CUP er signifikant forskellig fra 0.

forklares ved stimulering af træernes optagelseskapacitet ud fra følgende:

1. Øget kuldioxidkoncentration i atmosfæren

I den pågældende 20-årige periode er CO_2 -koncentrationen i atmosfæren steget fra 363 ppm til 404 ppm. Denne stigning på 41 ppm (11,3%) påvirker bl.a. planterne ved at stimulere fotosyntesen direkte. En anden effekt på bladniveau er, at bladenes spalteåbningers åbningsgrad reduceres, når CO_2 -koncentrationen stiger. Derved sparer planterne på vandressourcerne, da transpirationen falder, og vandudnyttelsesgraden per optaget CO_2 -molekyle stiger. En anden effekt af at åbningsgraden reduceres, er en mindsket optagelse af toksisk luftforurening. Specielt ozonoptagelsen reduceres, da ozon forekommer i relativt høje og skadelige mængder i den periode, hvor planterne vokser hurtigst (forår og sommer).

2. Øget kvælstof-tilgængelighed i jorden

Kvælstof i jorden stimuler plantevæksten og dermed kulstofoptagelsen. Kvælstof-depositionen i Danmark er dog faldet over de seneste 10 år, men tilgængeligheden af kvælstof kan al-

ligevel være øget. Den mikrobielle mineralisering i jorden kan være forøget som følge af en stigning i jordtemperaturen.

3. Øget sommernedbør

Plantevækst i Danmark er ofte begrænset af vandtilgængeligheden, og den forøgede sommernedbør kan derfor både stimulere væksten og forlænge bladenes aktive periode.

Fremtidige test af hypoteser

Vi mener, at disse hypoteser skal testes vha. forskellige forskningsstrategier omfattende analyser fra feltobservationer, kontrollerede laboratorieforsøg, felt-manipuleringsforsøg og modellering.

Resultaterne af sådanne undersøgelser vil kunne medvirke til bedre forudsigelse af skoves optagelse og tilbageholdelse af kulstof i et ændret klima og derved levere et vigtigt bidrag til forudsigelsen af fremtidige klimaændringer.

Kontakt og ansvarsfordeling:

Kim Pilegaard (kipi@env.dtu.dk):

projektleder for ICOS Danmark (<http://www.icos-denmark.dk>)

Andreas Ibrom (anib@env.dtu.dk):

ansvarlig for målestationen ved Sorø

Teis Nørgaard Mikkelsen (temi@env.dtu.dk):

plantefysiologiske målinger

Om ICOS

DTU's målestation ved Sorø indgår i den nye europæiske forskningsinfrastruktur ICOS (Integrated Carbon Observation System). ICOS skal fremme forståelsen af kulstofcyklus, drivhusgas-budgetter samt ændringer af de underliggende processer. ICOS består af et netværk af målestationer, der måler udveksling af drivhusgasser mellem atmosfæren og økosystemer på land og i havet, samt målinger af drivhusgaskoncentrationer i atmosfæren. Efter at have gennemgået en omhyggelig kvalitetskontrol, bliver data fra disse målinger stillet frit til rådighed for alle, f.eks. forskere, offentlige institutioner, medier og alle andre interesserede. ICOS Carbon Portal kan ses her: <https://www.icos-cp.eu>.



Rettsch
TECHNOLOGY

Reliable particle size and particle shape analysis of powders, granules and suspensions with Dynamic Image Analysis

SKANLAB

dual camera technology

Kvinderupvej 30 · 3550 Slangerup · Tlf: 4738 1014 · www.retsch.dk