

Blæretang (*Fucus vesiculosus*) og buletang (*Ascophyllum nodosum*) i tidevandszonen nær Nuuk, Grønland. Foto: Scott Bennett

VERDENS TANGSKOVE MODVIRKER GLOBAL OPVARMNING

Om forfatteren
Kristian Sjøgren er videnskabsjournalist
ksjoegren@gmail.com



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Aarhus Universitet, Michael Møller Hansen. Læs mere på www.dff.dk

Indtil for ganske nylig blev tangskove slet ikke betragtet som en spiller i det globale klimaregnskab. Dansk forskning har dog vist, at tangskovene kan trække CO₂ ud af atmosfæren og gemme det af vejen dybt nede i havbunden. Nu skal forskerne finde ud af, hvor meget arktiske tangskove kan modvirke den globale opvarmning.

Klimadebatten når måned for måned nye højder, mens det ene forskningsresultat efter det andet på den mest grusomme vis illustrerer, hvor galt det egentlig står til med klodens helbred. Regnskovene bliver fældet, koralrevene dør, havniveauet stiger, og varmere vejr varsler om klimakatastrofer, som ingen af os kan gemme os for.

Midt i al elendigheden er der dog lyspunkter. Eksempelvis viste dansk forskning for nylig, at tangskove

trækker i den modsatte retning og rent faktisk er i stand til at hive CO₂ ud af atmosfæren og gemme det af vejen i havbunden eller i mørket i dybhavet langt under havets overflade.

Opdagelsen var overraskende, fordi forskere ikke indtil da havde været opmærksomme på tangskovenes rolle i at binde betydelige mængder CO₂ mere eller mindre permanent under havets overflade. Opdagelsen har gjort, at de selvsamme danske forskere nu er gået i gang med et

stort treårigt forskningsprojekt, hvori de skal kortlægge betydningen af Grønlands tangskove for det globale klima.

»Over det seneste årti er der kommet stort fokus på, hvordan havets skove bidrager til at binde CO₂ fra atmosfæren og dermed modvirke drivhuseffekten. I den sammenhæng har man dog ikke regnet med tangskovene, da man ikke har ment, at de kunne opbygge et undervandslager af kulstof. Den antagelse har dog vist sig at være for-

Om Dorte Krause-Jensen

Dorte Krause-Jensen er seniorforsker ved institut for Bioscience ved Aarhus Universitet. Hun tog sin kandidatgrad i biologi ved Aarhus Universitet og sin ph.d. ved Københavns Universitet. Hendes forskning fokuserer på verdens havgræsenge og tangskove, deres respons på globale og lokale påvirkninger, deres rolle i kystnære økosystemer, specielt i forhold til tilbageholdelse af kulstof og næringsstoffer, og deres anvendelse i forvaltningssammenhæng som indikatorer for den økologiske tilstand i havet.

Hun leder projektet *Carbon sequestration of Arctic marine Macroalgae (CARMA)*, der er et interdisciplinært, internationalt samarbejde i krydsfeltet mellem marin økologi, geologi, oceanografi, remote sensing, biokemi og genetik.

I projektet deltager også Carlos M. Duarte (King Abdullah University of Science and Technology, KAUST, Saudi-Arabien), Mikael K. Sejr, Marit Solveig Seidenkrantz, Daniel Frazier Carlson, Sarah Bachmann Ørberg (Aarhus Universitet) og Thomas Larsen (Max Planck, Tyskland). Projektet er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond.



kert, og derfor er der stor interesse for at finde ud af, hvor meget CO₂ tangskovene egentlig er i stand til at binde,« fortæller kvinden bag det nye forskningsprojekt, seniorforsker Dorte Krause-Jensen fra Institut for Bioscience, Marin Økologi, ved Aarhus Universitet.

Tangskove kan opsnappe CO₂-udledningen fra 60 millioner danskere

At forskere indtil nu har overset tangskovenes betydning for det globale CO₂-regnskab skyldes, at tangskovene vokser på sten i modsætning til alle havets andre skove, eksempelvis ålegræsenge, saltmarsker og mangrover, der vokser på blød havbund. Intuitivt giver det mening, at ålegræstæpper, saltmarsker og mangrover kan trække CO₂ ud af atmosfæren, lagre det i plantemateriale og gemme det af vejen som rødder, andre døde plantedele og partikler i den bløde sand- eller muderbund under sig; men det kan tangskovene ikke på klippebund. Klipper er i den sammenhæng et dårligt sted at vokse, fordi der

på klipper ikke kan akkumuleres dødt plantemateriale under tangskoven.

Alligevel kan tangskovene bidrage til at trække CO₂ ud af atmosfæren og lagre det i havbunden. Dorte Krause-Jensens forskning viste for nogle år siden, at tang fra tangskovene ofte bliver revet løs fra klippeunderlaget og driver med strømmen til andre steder i havet. Der kan tangen enten blive lagret i blød havbund eller forsvinde ned i dybhavet flere kilometer under havets overflade. Opdagelsen gjorde, at man ikke længere kunne ignorere tangskovenes bidrag til det globale klimaregnskab.

Læg dertil, at blandt alle havets skove udgør tangskovene det største areal. Den globale udbredelse af tangskove er estimeret til 3,4 millioner kvadratkilometer, hvilket svarer til 80 gange Danmarks areal. Man er som minimum nødt til at danne sig et overblik over omfanget af transporten af død tang fra tangskovene til havbunden og dybhavet.

»Vi har lavet et første og meget groft skøn over tangskovenes bidrag til at tage CO₂ ud af atmosfæren og lagre det på havbunden. Det viser, at tangskovene potentielt set kan binde CO₂ i et omfang, der svarer til, hvad 60 millioner danskere udleder. Det ændrer selvfølgelig ikke markant i det globale klimaregnskab, men det er da af en vis betydning, som ikke kan ignoreres,« forklarer Dorte Krause-Jensen.

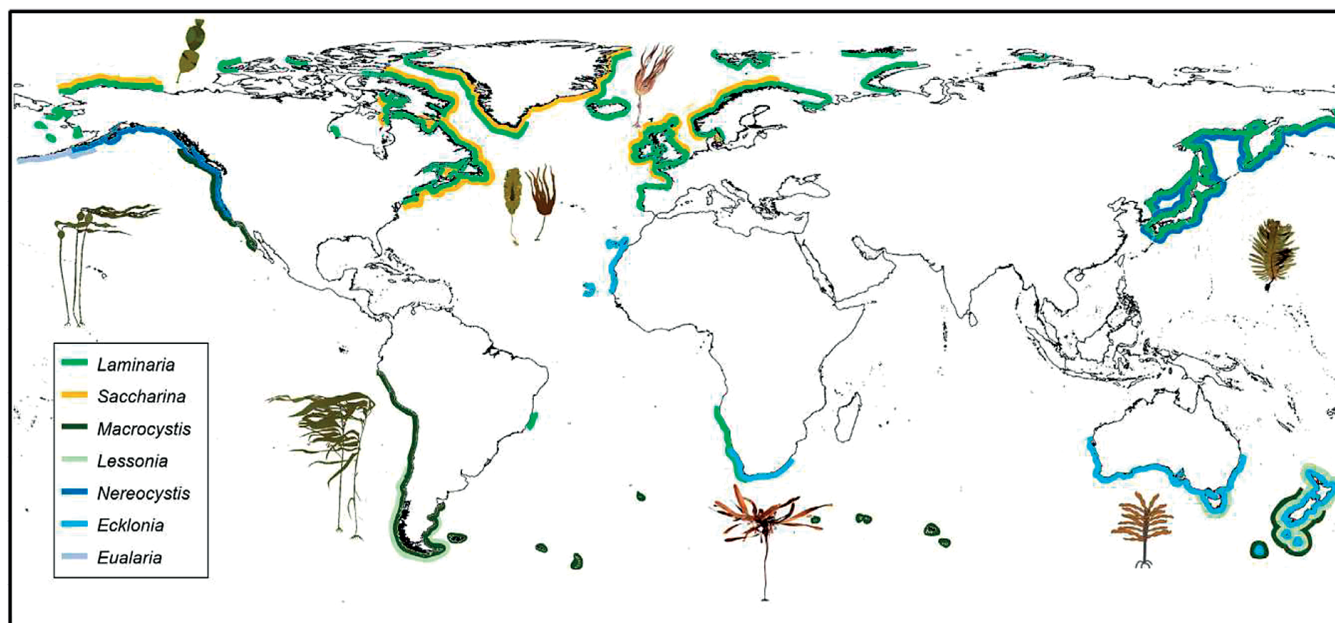
Tangskove kan have stor betydning for både klima og dyr

I sin forskning skal Dorte Krause-Jensen over de næste tre år sætte alle sejl ind på at kortlægge de grønlandske tangskove. Grønlands kyststrækning udgør med sine mange bugter, folder og småøer en kystlinje på 44.000 kvadratkilometer, hvilket er op mod 12 procent af verdens samlede kyststrækning. Ydermere består en stor del af kystlinjen af klipper og stenbund, der udgør ideelle betingelser for tang at vokse på.

Tangskovene langs Grønlands kyster er desuden både miljømæssigt



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK



Global udbredelse af skove af store brunalger (kelp). De kan i øvrigt blive meget lange – op til 60 meter. Efter Thomas Wernberg et. al. 2019.

og klimamæssigt interessante på flere forskellige måder.

- For det første er tangskovene hjemsted for store mængder fiskeyngel, der gemmer sig i virvaret af tang, indtil de er store nok til at bevæge sig ud på det åbne hav. Tangskovene er en slags rugekasse for rigtig mange af de fisk, der er kommercielt interessante, så uden tangskovene ville køledisken hos den lokale fiskehandler formentlig være mere kedelig at kigge ned i.
- For det andet kan tangskovene trække kulsyre ud af havet og skabe lokale miljøer, der er mindre sure end det omkringliggende hav. Dermed skaber de betingelser, som er gode for skaldannende dyr som muslinger, der ellers kan få problemer, i takt med at havet bliver mere og mere surt. Dog stopper tangskovens fotosyntese om natten, så de i stedet for at tage kulsyre ud af vandet producerer CO_2 og dermed selv bidrager til en forsurening af lokalmiljøet. Det har mange skal- og bløddyr dog lært at tilpasse sig, så de primært danner deres skaller om dagen, hvor vandet er mindst surt. Derudover er der under den arktiske sommer i Grønland praktisk talt lyst hele tiden, hvilket gør havet omkring

tangskovene til mere eller mindre permanente oaser med lav surhedsgrad i vandet gennem sommeren, hvor skaldyrene mest har brug for det.

- For det tredje vokser tangskovene hurtigt og trækker mest CO_2 ud af atmosfæren, når havet omkring dem er lyst og varmt. I takt med at klimaforandringerne smelter havisen og dermed forlænger åbenvandsperioden, vil netop de betingelser blive mere gunstige omkring Grønland til fordel for tangskovens muligheder for at udbrede sig.
- Til sidst, men ikke mindst, vokser tangskovene omkring Grønland henover flere breddegrader og klimagrader, hvilket vil sige, at forskerne kan bruge viden om tangskovens udbredelse og betingelser i det sydlige Grønland i dag til at sige noget om, hvordan tingene kan komme til at se ud i det nordlige Grønland i fremtidens varmere klimascenarie. I dag er udbredelsen af tangskove i havet ud for det nordlige Grønland meget sparsom, da der mange steder kun er isfrit i et par uger eller måneder om året. I fremtiden ser det formentlig meget anderledes ud, og den fremtid kan det sydlige Grønland tegne allerede i dag.

»Tangskovene kommer ikke til at løse klimakrisen, men de bidrager til at få indfanget noget kulstof, og så stimulerer de biodiversiteten omkring Grønland. I takt med at det bliver varmere, og tangskovene breder sig, regner vi med, at deres økologiske funktion bliver større. Derfor er Grønland så interessant i den her sammenhæng,« siger Dorte Krause-Jensen.

Vil bruge satellitter til at kortlægge Grønlands tangskove

Over de næste tre år skal Dorte Krause-Jensen sammen med sine kollegaer kortlægge flere elementer vedrørende de indtil videre relativt ukendte tangskove.

For det første skal forskerne kortlægge den nuværende udbredelse af tangskove i havet omkring Grønland. Kun på den måde kan de danne sig et overblik over tangskovens kapacitet for at lagre CO_2 . Jo større tangskovene er, des bedre er det for både klimaet og miljøet. Forskerne vil i den sammenhæng benytte flere forskellige kilder til at lave et udbredelseskort og ydermere undersøge tangskovens skæbne.

Forskerne vil blandt andet benytte satellitfoto i kombination med data om lysforhold og observationer fra undervandsvideo til at afgøre, hvor tangskovene er, hvor langt fra kysten



de vokser, og hvor dybt i havet de gror. Da forskerne allerede kender til tangskovens biologi, ved de også, hvor meget lys skovene skal bruge for at vokse. Lyset er dermed med til at afgøre, hvor dybt under havets overflade forskerne regner med at kunne finde dem. Koblingen af satellitfotos og topografiske kort skal gerne danne grundlaget for det allerførste oversigtskort over de grønlandske tangskove.

Forskerne vil også benytte satellitfoto til at følge tangmåtters bevægelser rundt i havet. Når vejrforholdene viser tænder, river tang sig ofte løs fra klipperne, samler sig i store måtter og flyder ud til havs. Hvis forskerne skal afgøre, hvad der sker med det plantemateriale, som tangskovene udgør, er de nødt til at vide, hvor tangen forsvinder hen. Det vil de spore med satellitter. Udover satellitfotos vil de også benytte GPS'er, der skal sættes direkte på tangmåtterne, for at forskerne kan følge tangens bevægelse fra kysten til dens endestation i dybhavet, i havbunden eller på stranden.

»Vi bliver de første til at gøre det her. Selvom der er kommet mere interesse omkring tangskovene over de seneste år, er ingen endnu kommet med konkrete data på hverken de grønlandske tangskoves udbredelse eller tangmåtternes færden og skæbne,« fortæller Dorte Krause-Jensen.

DNA-analyse skal finde død tang i havbunden

I projektet vil forskerne også udvikle metoder til at identificere tang i havbunden. Selvom forskerne kan se, at tangen falder til bunds langt fra Grønlands klippekyster, er det alligevel ikke sikkert, at det døde plantemateriale bliver en del af havbunden og dermed bidrager til havbundens kulstoflager.

På den baggrund vil Dorte Krause-Jensen sammen med sine kollegaer udvikle DNA-værktøjer, der kan bruges til at afgøre, om der er rester af tang i havbunden eller ej.

For det første vil forskerne lave et katalog af DNA-profiler fra de mest

udbredte arter af tang. De vil derefter udvikle teknikker til at kunne finde stykker af netop de kendte tangarters DNA i havbunden. På den måde kan de verificere, at en del af det kulstof, som tangen optager, når den vokser på klipperne, rent faktisk også bliver bundet i havbunden, når tangen dør. Du kan læse mere om selve teknikken i boksen på næste side.

»Hovedformålet med vores projekt er indledningsvist at finde ud af, hvordan man overhovedet kan finde spor fra tang i havbunden. De hidtidige teknikker, der har været baseret på isotop-analyser, har ikke været gode nok til formålet, og derfor er vi nødt til at udvikle nogle nye. Disse teknikker baserer sig på det, der hedder miljøDNA eller eDNA,« forklarer Dorte Krause-Jensen.

Vil finde flere hundrede år gammelt død tang

Det sidste delprojekt i det treårige forskningsarbejde går ud på at kvantificere, hvor meget tangskove-

Feltarbejde omkring buletang (*Ascophyllum nodosum*) i tidevandszonen nær Nuuk, Grønland. Forrest i billedet: Dorte Krause-Jensen, bagest i billedet Sarah Backmann Ørberg (tv) og Núria Marbà (th). Foto: Scott Bennett



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Er der spor af tang-DNA i havbunden?

I forskningen vil Dorte Krause-Jensen benytte en specifik DNA-analyseteknik, hvor forskerne analyserer på miljø-DNA. Miljø-DNA er DNA, der er tilstede i en miljøprøve, eksempelvis en jordprøve, vandprøve eller luftprøve. I en miljøprøve er der DNA fra både levende organismer, men også frit DNA, der er efterladt af enten levende organismer i form af ekskrementer, hudrester og andre efterladenskaber eller efterladt af døde organismer, som er gået i opløsning. Forskere er typisk interesseret i det ekstracellulære DNA, der på grund af eksponering til miljøet uden for den beskyttende celle ofte er fragmenteret og nedbrudt til kortere stykker af DNA, der er lettere at analysere på.

I Dorte Krause-Jensens studie undersøger forskerne miljø-DNA fra havbundsprøver for at lede efter DNA fra tang. Det gør forskerne ved at kopiere og sekventere de stykker af tang-DNA, som de er interesserede i. Forskerne kan kopiere DNA ved hjælp af PCR (polymerase chain reaction), hvor de blandt andet tilføjer en primer (kort enstrengt DNA-sekvens, der matcher et stykke af det ønskede tang-DNA) og DNA-polymerase (enzym, der fremmer syntesen af DNA). Under høj temperatur bliver DNA'ets dobbeltstreng splittet i to enkeltstreng, og dernæst sænker forskerne temperaturen i prøven, så primeren kan sætte sig fast på DNA'et og angive, hvor DNA-polymerasen skal starte sin kopiering. Dernæst sekventerer forskerne de mange kopier af DNA med Next Generation Sequencing.

Desværre er det med de nuværende metoder meget svært kun at kopiere tang-DNA, fordi tang evolutionært udgør en polyfyletisk gruppe, hvilket vil sige, at de tre hovedgrupper af tang (grøn-, rød- og brunalger) ikke har en fælles flercellet stamfar. Dermed er det svært for forskerne at finde en region på deres DNA, som er unik for tang uden også at inkludere alle



Oparbejdning af prøver fra havbunden til analyse for rester af tang.

Foto: Carlos Duarte

andre planter og dyr. Forskerne har derfor valgt at kopiere et kort stykke af ribosomalt DNA, som er fælles for alle planter, dyr og svampe.

Da forskerne således kopierer og dernæst sekventerer meget andet end tang-DNA, skal de holde resultatet op mod online DNA-databaser for at kunne identificere, om der er tang i miljøprøven og om muligt identificere tangens slægt eller art. Deres udfordring er dog, at de nuværende DNA-databaser er utilstrækkelige med hensyn til tang-DNA, især fordi den DNA-region, som oftest findes i databaserne, er for lang til miljø-DNA-analyser. Desuden dækker DNA-databaserne slet ikke grønalger.

På baggrund af disse mangler er forskerne allerede i gang med at komplementere de eksisterende online DNA-databaser med ribosomalt DNA fra 37 nordatlantiske og grønlandske tangarter.

Næste skridt for forskerne bliver at finde ud af, hvordan de kan oversætte tilstedeværelsen og eventuelt mængden af tang-DNA til biomasse og egentlige kulstoflagre.

Dette vil de blandt andet gøre med en række laboratorieeksperimenter, hvor de vil tilføre en kendt mængde tang fra de forskellige hovedgrupper til sediment uden kulstof, og derefter foretage miljø-DNA-analyser.

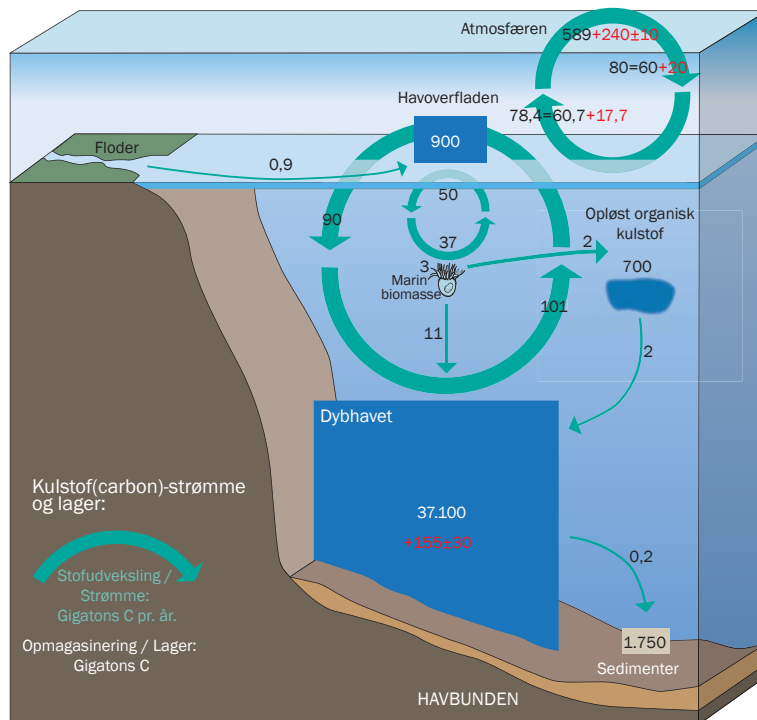
ne bidrager til at tage CO₂ ud af atmosfæren. Forskerne vil også kigge på, hvordan lagringen af materiale fra tang i havbunden har ændret sig over tid.

Forskerne har adgang til prøver af havbundens overfladelag samt boreprøver af havbunden fra rundt omkring Grønland. Nogle af dem er taget tæt ved kysten og på lavt vand, mens andre er taget på dybt vand langt fra kysten.

Havbundsprøverne kan forskerne bruge til først og fremmest at identificere, hvor i havet omkring Grønland der findes lagre for kulstof i form af død tang fra tangskovene. For det andet kan forskerne også bruge boreprøvernes stratificerede lag til at finde ud af, hvordan lagring af kulstof fra tang har ændret sig over tid.

- Forskerne vil blandt andet undersøge, om der er mere DNA fra tang i de øvre og dermed også yngre lag af havbunden. Inden for de seneste 30 år har klimaforandringerne virkelig taget fat, og måske kan man i havbunden se, at det har betydet, at der er kommet mere og mere dødt plantemateriale fra tang.
- Forskerne vil også kigge endnu længere tilbage i tiden. Den lille istid er betegnelsen for en kuldeperiode, der varede fra 1300-tallet til midt i 1800-tallet. Denne kolde periode har utvivlsomt haft indflydelse på isdækket i havet ud for Grønland og dermed også for tangskovenes muligheder for at brede sig. Spørgsmålet er, om det kan ses i havbundsprøverne?

»Vi er først lige begyndt, så der kommer til at gå noget tid, før vi har konkrete data. Når vi til gengæld har dem, vil de kunne bidrage til både en bedre forståelse af bidraget fra havets skove i forhold til at modvirke klimaforandringerne og en bedre forståelse af tangskovenes økologiske funktion i dag og i fremtiden,« siger Dorte Krause-Jensen. ■



Havets rolle i den globale kulstofcyklus. Havets skove i form af tangskove, ålegræseenge m.m. indgår endnu ikke i afbildninger af det globale kulstofkredsløb. Havet kan indeholde flere kulstof-lagre (blå), og deres årlige udveksling internt og med andre lagre (som atmosfæren) er vist i de grønne pile. Estimaterne af stofudveksling er både for organisk og uorganisk kulstof. Rød angiver bidrag fra menneskelige aktiviteter. Illustration efter IPCC 2001 og 2013.

Balancen tipper i det globale CO₂-regnskab

Milliarder og atter milliarder ton kulstof i form af CO₂ bliver hvert år udvekslet i klodens store kulstofkredsløb. Menneskets bidrag til det globale kulstofkredsløb i form af CO₂, som især stammer fra afbrænding af fossile brændstoffer og cementproduktion, betyder, at der kommer mere og mere CO₂ i atmosfæren. Mere CO₂ i atmosfæren betyder, at Jorden får sværere ved at komme af med varmen, den ellers permanente is omkring blandt andet Grønland smelter, temperaturen stiger, og det samme gør det globale havniveau.

I atmosfæren er der tæt på 750 gigaton kulstof (1 gigaton er 1 milliard ton). Til sammenligning indeholder Jordens skorpe 100.000.000 gigaton, jordlaget på Jordens overflade 1.500 gigaton, havene 38.000 gigaton og landjordens samlede plantemateriale 560 gigaton.

Der udveksles hele tiden kulstof mellem de forskellige aktører. Planterne optager via deres fotosyntese 120 gigaton kulstof om året, mens de samtidig udleder 60 gigaton.

Bakteriers nedbrydning af døde dyr og planter udleder 60 gigaton kulstof om året, mens landjorden optager 3 gigaton. Havet er nogenlunde i balance, men optager dog en smule mere, nemlig 92 gigaton, end de udleder, hvilket er 90 gigaton. Tager man menneskers bidrag til hele ligningen ind i beregningen, udleder vi samlet set blot omkring 9 gigaton om året. De 9 gigaton er dog nok til at tippe skalaen, så det samlede indhold af CO₂ i atmosfæren hvert år stiger med 4 gigaton. 4 gigaton lyder måske ikke af meget i forhold til de 100.000.000 gigaton, der er lagret i Jordens skorpe, men det er nok til, at kloden bliver varmere år for år. Det ubesvarede spørgsmål er, hvor havets skove passer ind i denne ligning, og hvor meget af det overskydende kulstof de kan optage. Dette spørgsmål for søger forskere verdenen over nu at besvare. Det er dog interessant at bemærke, at forskning har vist, at der under et givent areal af havets skove lagres lige så meget kulstof som under landjordens skove. Havenes skove opsamler bare CO₂ meget hurtigere.

Havets skove indfan-
ger CO₂: Videnskab.
dk/en/node/28519

Videnskab.dk/
naturvidenskab/gro-
enlandke-tangsko-
ve-modvirker-havfor-
suringen

Dorte Krause-Jensen
et.al: Long photope-
riods sustain high pH
in Arctic kelp forests,
Science Advances
14 Dec 2016. Vol. 2,
no. 12, e1501938.
DOI: 10.1126/
sciadv.1501938

Dorte Krause-Jensen
& Carlos M. Duarte:
Substantial role of
macroalgae in marine
carbon sequestration,
Nature Geoscience
volume 9, pages
737–742 (2016).
DOI: 10.1038/
ngco2790.

Dorte Krause-Jensen
et.al: Sequestrati-
on of macroalgal
carbon: the elephant
in the Blue Car-
bon room (2018).
Biology Letters.
DOI: 10.1098/
rsbl.2018.0236