Havbunden påvirker ålegræssets dybdegrænse

Det er primært tilgængeligheden af lys, der bestemmer, hvor dybt ålegræs vokser. Flere næringsstoffer giver uklart vand og begrænser dybdeudbredelsen. Men alligevel mangler ålegræsset ofte i områder, hvor der er lys nok til vækst, og andre faktorer end lyset har altså betydning for, hvor dybt planterne vokser. I artiklen beskriver vi, hvordan havbunden påvirker ålegræssets dybdeudbredelse.

Dorte Krause-Jensen
Peter Bondo Christensen
Søren Laurentius Nielsen
Jacob Carstensen
Michael Bo Rasmussen

Havgræsser er vigtige komponenter i lavvandede fjorde og kystområder. De er produktive, har en stor biomasse, og påvirker omsætningen af kulstof og næringsstoffer. Mange organismer lever på og imellem havgræssernes blade, jordstængler og rødder, og områder med havgræsser har derfor en stor biodiversitet. Endelig spiller havgræsserne en vigtig rolle som naturlig kystsikring.

Men havgræsser verden rundt oplever i øjeblikket en global krise. Deres udbredelse er på retur bl.a. som følge af eutrofiering. Vores vigtigste havgræs herhjemme, ålegræsset, er også langt mindre udbredt nu end for 100 år siden. Den vigtigste årsag er, at vandet er blevet mere uklart, og at lyset derfor ikke når så langt ned i vandet. Mange undersøgelser har dokumenteret, at det især er tilgængeligheden af lys, der styrer ålegræssets dybdeudbredelse.

Gennem de seneste år er udledningerne af næringsstoffer til de danske farvande reduceret, og vandet er blevet klarere. Men ålegræs vokser stadig ikke ud til større dybder og slet ikke ud til de dybder, som tilgængeligheden af lys tillader. Andre faktorer end lyset spiller altså også en rolle for udbredelsen af ålegræs.

En undersøgelse helt tilbage fra 1800-tallet nævner, at havbunden påvirker ålegræssets dybdegrænse. Undersøgelsen fortæller, at ålegræs i Kiel Bugt kunne vokse ned til 17 meters dybde på sandbund, mens det aldrig voksede dybere end 10 meter på mudderbund /1/.

Havgræsser og havbund indgår i et tæt samspil. Havgræssernes tilstedeværelse og deres fotosyntese og respiration påvirker havbundens indhold af organisk stof, næringsstoffer og ilt og derigennem også havbundens mikroorganismer og stofomsætning. Omvendt påvirker havbundens fysiske og kemiske sammensætning også havgræsserne /2,3/. Påvirkningen kan være både positiv og negativ. Havgræsserne har eksempelvis brug for næringsstoffer fra bunden, mens iltsvind og udslip af svovlbrinte fra havbunden hæmmer dem /2,3/. Selvom vandet i de danske farvande er blevet klarere gennem de seneste år, kan havbunden stadig være præget af tidligere tiders belastning med næringssalte og muligvis hæmme ålegræsset.

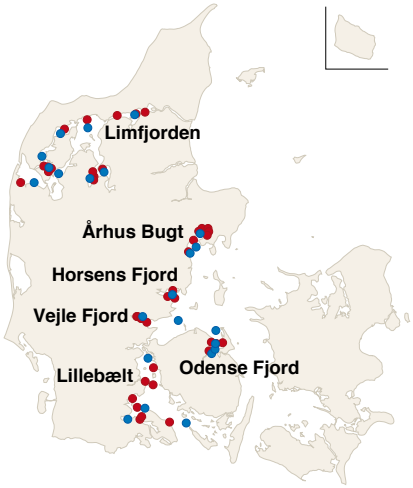
Vores hypotese er, at havbundens sammensætning sammen med lyset er med til at bestemme ålegræssets dybdegrænse. Hvis havbunden er rig på organisk stof, næringsstoffer eller sulfid og dermed har øget risiko for iltsvind, forventer vi, at ålegræs vokser til mindre dybder end lyset tillader. Vi forventer også, at en porøs havbund begrænser dybdeudbredelsen af ålegræs, da plantens rødder ikke kan stå fast.

Måleprogram

Til undersøgelsen valgte vi 42 stationer i danske fjorde og kystvande, hvor ålegræs voksede til vidt forskellig dybdegrænse, og hvor lys- og bundforhold varierede markant. Vi valgte bl.a. mange stationer, hvor vi vidste, at ålegræsset ikke vokser så dybt, som man kunne forvente ud fra sigtdybden. Vi forsøgte at undgå stationer, hvor muslingefiskeri sætter grænser for udbredelsen af ålegræs.

Stationerne er fordelt i Limfjorden, Århus Bugt, Odense Fjord, Horsens Fjord, Vejle Fjord og Lillebæltområdet, se fig. 1. På samtlige stationer indsamlede vi data om ålegræssets dybdegrænse, havbundens kemiske sammensætning (koncentrationer af C, N og P, organisk stof og sulfid, sulfidbufferkapacitet og sulfidfront), samt havbundens fysiske sammensætning (kornstørrelse, porøsitet og massefylde). Undersøgelserne foregik i august-september 2005 i forbindelse med de årlige undersøgelser af ålegræs under Vandmiljøplanens overvågningsprogram.

Dykkere fra amterne bestemte ålegræssets maksimale dybdegrænse, dvs. den største dybde med ålegræs. Dykkerne indsamlede derefter 10 kerner af havbunden (øvre 15-20 cm af havbunden) mellem de spredte skud ved dybdegrænsen. Sedimentkernerne blev inkuberet i vand fra lokaliteten ved samme iltkoncentration og temperatur som i felten. Næste dag målte vi sulfidbuffer-kapacitet og sulfidfronten på tre kerner fra hver station. Koncentrationen af sulfid blev målt i 1-cm skiver i de øverste 10 cm på en enkelt kerne



Figur 1. *42 stationer (•) med målinger af 1) dybdegrænse for vækst af ålegræs samt 2)havbundens kemiske sammensætning (koncentrationer af C, N og P, organisk stof og sulfid, sulfidbufferkapacitet og sulfidfront) og havbundens fysiske sammensætning (kornstørrelse, porøsitet og massefylde). Nabostationer (•) med målinger af sigtdybde.*

fra hver station. De øvrige kerner blev skåret op og gemt til senere analyse. Kornstørrelsesfordeling blev målt på 2-cm skiver til 10 cm dybde på en enkelt kerne. Tørvægt, glødetab, porøsitet, massefylde, samt indhold af C, N og P blev bestemt på 3 kerner, der ligeledes var skåret i 2-cm skiver.

Ålegræsstationerne lå i nærheden af overvågningsprogrammets vandkemistationer, hvor amterne bl.a. målte sigtdybde. Vi analyserede sammenhængene mellem dybdegrænse, bundforhold og sigtdybde vha. lineær regressionsanalyse. I beregningerne indgik gennemsnitlige sigtdybder for perioden maj-september og gennemsnit af havbundsvariable for de øverste 10 cm havbund.

Ålegræs på sandet bund. Foto: Peter Bondo Christensen.

Lyset er den primære faktor, der styrer dybdegrænsen

På de 42 stationer varierer ålegræssets dybdegrænse fra ca. 1 til 6 meter, mens sigtdybden varierer fra 2,5 til 9,5 meter. Lyset alene forklarer størstedelen af variationen i ålegræssets dybdegrænse. En lineær regressionsanalyse viser, at sigtdybden forklarer hele 79 % af variationen i dybdegrænsen, se fig. 2. Det er en endnu større forklaringskraft end i tidligere analyser af samme art i danske farvande /4/.

Selvom modellen overordnet giver en god beskrivelse af ålegræssets dybdegrænse ud fra sigtdybden, er det tydeligt, at der områder, hvor ålegræsset ikke vokser så dybt, som sigtdybden eller tilgængeligheden af lyset tillader, se fig. 2. Spørgsmålet er så, om forskelle i havbundens sammensætning bidrager til at begrænse dybdeudbredelsen i disse områder.

Havbundens sammensætning

Havbundens sammensætning varierer meget mellem de 42 stationer, se fig. 3 og 4. Selv over korte afstande er variationen stor. Variationen mellem nabostationer i samme område er ofte lige så stor som variationen mellem områder, der ligger langt fra hinanden. For eksempel varierer indholdet af organisk stof i havbunden i Odense Fjord mellem 13 og 145 mg per g tørstof, og ingen af de andre områder har højere organisk indhold.

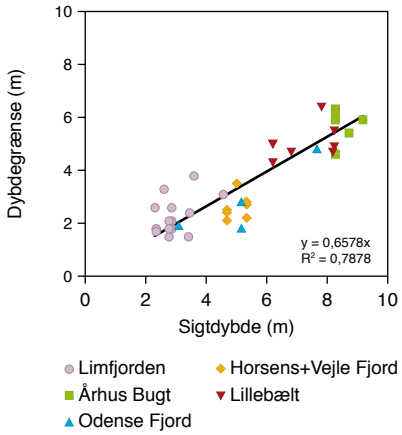
Mange af de fysiske og kemiske variable i havbunden er tæt korrelerede. Når havbunden er rig på organisk stof, er den også rig på kvælstof, fosfor og kulstof, og der er tendens til, at indholdet af svovlbrinte også er højt (figur 3, øverst), at bunden indeholder meget finkornet materiale og er porøs (figur 3 nederst). Det faktum, at fosforindholdet er korreleret til indholdet af organisk stof viser, at fosfor overvejende findes på organisk form og kun i mindre grad som jernbundet fosfor i disse områder. Manglen på jernbundet fosfor bidrager også til en lav sulfidbufferkapacitet på stationerne (data ikke vist). Havbundens C/N-forhold er derimod ikke korreleret med andre havbundsvariable, se fig. 3, nederst.

En havbund med letomsætteligt organisk stof begrænser dybdeudbredelsen

For at undersøge, om havbundens sammensætning påvirker ålegræssets dybdegrænse, analyserede vi, om havbundens fysiske og kemiske sammensætning kunne forklare restvariationen (residualerne) fra relationen mellem dybdegrænse og sigtdybde, som fremgår af fig. 2.

Det viste sig, at havbundens C/N-forhold kunne forklare en del af restvariationen i dybdegrænsen, se fig. 5. Et lavt C/N-forhold karakteriserer en havbund med næringsrigt organisk stof, der let omsættes og derfor forbruger meget ilt. Vores analyse viser, at lave C/N-forhold begrænser ålegræssets dybdeudbredelse, mens høje C/N-forhold (over 12) ingen effekt har på dybde-udbredelsen. Sammenhængen er dermed ikke-lineær. Ingen andre af havbundens variable viste god sammenhæng med ålegræssets dybdegrænse, selvom der ikke forekom dybe ålegræsbestande på de mest organisk rige og finkornede sedimenter.

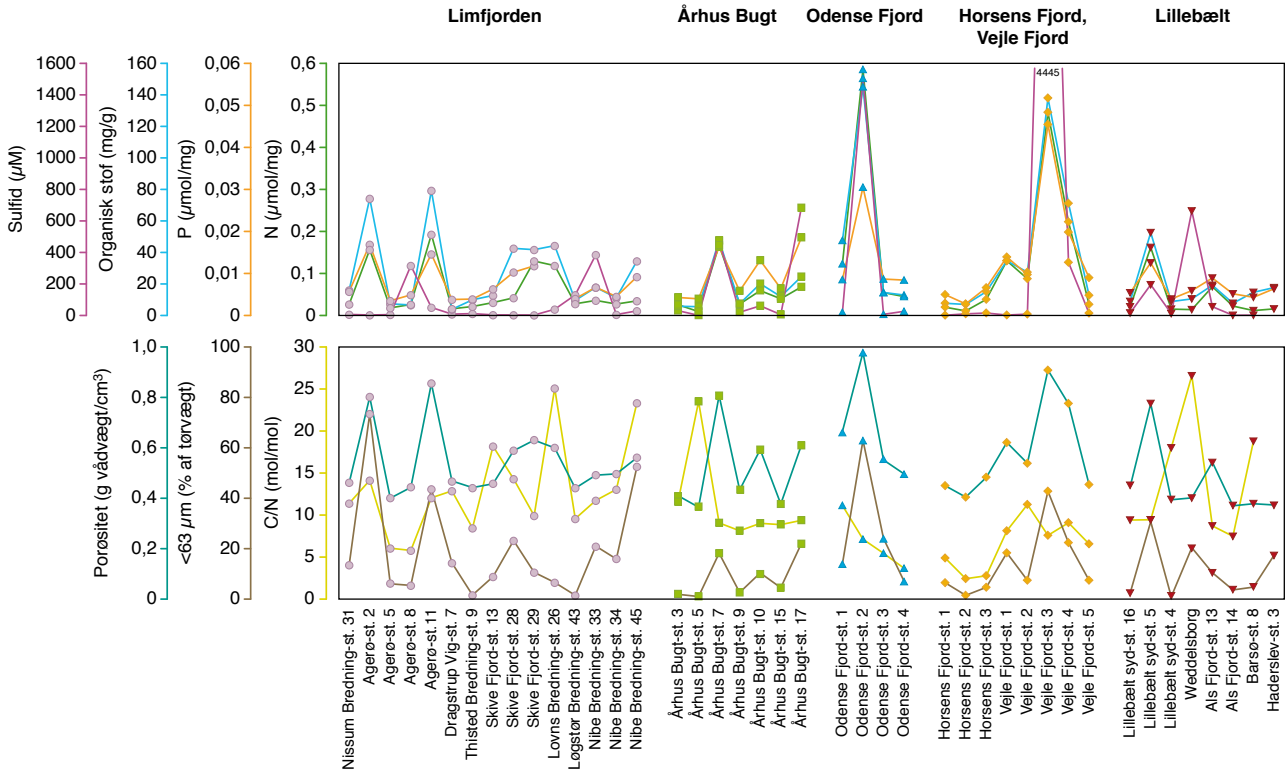
I en vis udstrækning bidrager ålegræsbede



Figur 2. *Lineær regression af ålegræssets dybdegrænse som funktion af sigtdybden på 42 stationer fordelt i Limfjorden, Århus Bugt, Odense Fjord, Horsens og Vejle Fjorde samt i Lillebælt-området. Lyset alene forklarer 79 % af variationen i ålegræssets dybdegrænse.*

Boks 1

$$\text{Dybdegrænse} = \begin{cases} 0{,}703 \cdot \text{sigtdybde} & \text{C/N} > 12{,}2 \\ 0{,}703 \cdot \text{sigtdybde} + 0.082 \cdot (\text{C/N} - 12{,}2) & \text{C/N} \leq 12{,}2 \end{cases} \qquad R^2 = 0{,}81$$



Figur 3. *Havbundens sammensætning på stationer i Limfjorden, Århus Bugt, Odense Fjord, Horsens Fjord, Vejle Fjord og Lillebæltområdet. Øverste panel viser udvalgte kemiske variable i havbunden: Koncentrationer af sulfid (lilla), organisk stof (lyseblå), fosfor (orange) og kvælstof (grøn). Flere af disse er korrelerede. Nederste panel viser C/N-forholdet (gul), samt indholdet af silt og ler. Disse variable er ikke korreleret til andre havbundsvariable. Data er gennemsnit for de øverste 10 cm havbund. Kun udvalgte havbundsvariable er præsenteret.*

selv til at ophobe organisk stof i havbunden. Skuddene bremser vandbevægelsen og fremmer derved, at organisk stof fra vandsøjlen sedimenterer i ålegræsbedet, og at gamle ålegræsblade kan hobe sig op i bedet. Ålegræssets under-jordiske net af rødder og stængler holder på havbunden og bidrager også til at fastholde det organiske materiale. Endelig udskiller ålegræs opløst organisk stof gennem rødderne. Ålegræs er derfor i nogen grad tilpasset en organisk rig havbund. Men tilsyneladende er det et problem for ålegræsset, når det organiske stof er meget let-omsætteligt. En øget belastning med næringssalte favoriserer planktonalger, som ikke bare skygger for ålegræsset, men også tilfører havbunden let-omsætteligt organisk materiale med et C/N-forhold, der er lavere end ålegræsblades /5/.

Desuden er det sandsynligvis meget vanskeligt for ålegræs-frøplanter at etablere sig i en organisk rig havbund, hvor der kan optræde dårlige iltforhold. Under anaerobe forhold udvikler ålegræs-frøplanter sig abnormt og udvikler ikke normale rødder /6/. Da en organisk rig havbund også er porøs, er forholdene for at etablere frøplanter her de værst tænkelige.

Empirisk model

Tilsammen forklarer variationer i sigtdybde og havbundens sammensætning 81 % af variationen i ålegræssets dybde-grænse, og sammenhængen kan summeres i en empirisk model, se boks 1.

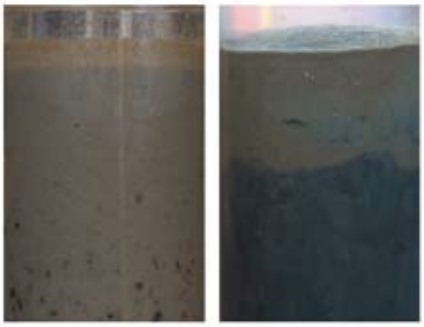
Ålegræs vokser generelt 0,7 m dybere for hver meter, sigtdybden stiger, men for lave C/N-forhold reduceres ålegræssets dybdegrænse med 8 cm hver gang C/N-forholdet falder med én enhed under 12,2. I områder, hvor C/N-forholdet er større end 12,2 spiller havbundens sammensætning derimod ingen rolle for dybdeudbredelsen. Ingen andre af havbundens parametre forbedrer modellen.

Modellen viser altså, at kun lave C/N-forhold påvirker dybdegrænsen. Flere stationer havde C/N-forhold nede på omkring 5 – altså ca. 7 C/N-enheder lavere end grænsen på 12,2. Ifølge modellen begrænser sådanne lave C/N-forhold ålegræssets dybdeudbredelse med ca. 60 cm (7 x 8 cm) i gennemsnit. Der er dog stor variation i data.

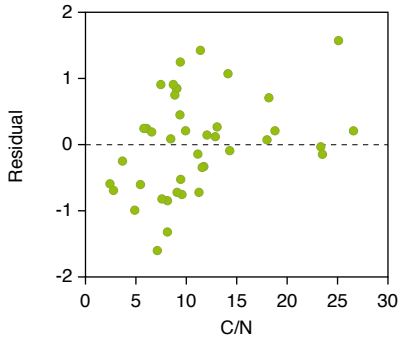
Det giver god mening, at både lys- og bundforhold regulerer ålegræssets dybdeudbredelse. Ved gode lysforhold forsyner ålegræsset rodcellerne med ilt fra fotosyntesen og imødegår dermed de reducerede forhold, der ofte karakteriserer havbunden under et ålegræsbed. Dårligere lysforhold i kombination med en havbund, der er rig på letomsætteligt, organisk stof, og som dermed har et højt iltforbrug, gør det vanskeligt for planten at producere ilt nok ved fotosyntesen til at imødegå de reducerede forhold i havbunden /3,7/.

Meget lyskrævende ålegræs

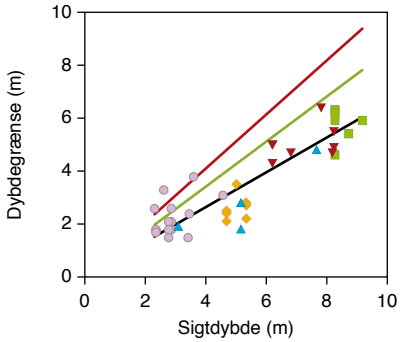
Ved en given sigtdybde, vokser ålegræsset fra denne undersøgelse ikke så dybt som ålegræs inddraget i tidligere danske undersøgelser, se fig. 6. Man kan sige, at ålegræsset nu er relativt mere lyskrævende.



Figur 4. *Eksempel på to havbunde med forskellig sammensætning. Til venstre en havbund, der er oxideret til stor dybde. Til højre en mere reduceret havbund.*



Figur 5. *Residualer af regressionen mellem dybdegrænse og lys (Figur 2) afbildet som funktion af havbundens C/N-forhold. C/N-forholdet var den variabel i havbunden, der var bedst korreleret med residualerne.*



Figur 6. *Ålegræssets dybdegrænse som funktion af sigtdybden. Øverste regressionslinie (y=1,0218, R^2=0,78) repræsenterer data fra 1901 /8/, midterste regressionslinie (y=0,8515x, R^2=0,60) repræsenterer data fra omkring 1901 /4/. Nederste regressionslinie (y=0,6578x, R^2=0,79) samt datasværm repræsenterer data fra denne undersøgelse (2005).*

Denne forskel kan til dels skyldes en skævhed i data, da vi bevidst valgte flere stationer, hvor ålegræs ikke vokser så dybt, som man skulle forvente ud fra sigtdybden. Men det større lyskrav kan også skyldes, at havbunden gennem tiden har ændret sig mod et lavere C/N-forhold. Dette kan vi ikke umiddelbart eftervise, da der kun eksisterer ganske få tidligere datasæt om havbundens sammensætning. Hvis ålegræsset generelt har flere epifytter nu end tidligere, får planten også et større lyskrav, men denne teori kan vi heller ikke teste, da vi mangler datasæt om udviklingen i epifytter på ålegræs.

Endelig kan den generelle temperaturstigning gennem de seneste årtier være en del af forklaringen. Højere temperatur giver større energiforbrug til respiration og øger dermed ålegræssets lyskrav. Højere temperatur øger også stofomsætningen og giver dermed et øget iltforbrug i havbunden, samtidig med at vandet indeholder mindre opløst ilt. Ålegræsset skal derfor sende mere ilt til rodcellerne for at imødegå de reducerede forhold i havbunden. Alt i alt skaber højere temperatur et øget krav til ålegræssets iltproduktion og dermed et større lyskrav.

Konklusion

Uklart vand er den vigtigste faktor, der begrænser ålegræssets dybdeudbredelse, men en havbund med letomsætteligt organisk stof begrænser dybdeudbredelsen yderligere. Det viser vores empiriske undersøgelser af ålegræs i en lang række danske fjord- og kystområder. For at undersøge mekanismerne bag havbundens effekt på ålegræsset, er der behov for kontrollerede forsøg i laboratoriet eller i felten. Ålegræsset i danske farvande ser i dag ud til at være mere lyskrævende end tidligere. En mere reduceret havbund med et lavere C/N-forhold, flere epifytter og højere temperaturer kan være nogle af forklaringerne.

Tak

Vi takker de mange personer fra de tidligere amter, som har bidraget til dette studium: Nicolai Holmboe, Fyns Amt; Jens Sund Laursen og Grethe Bruntse, Sønderjyllands Amt; Martha Laursen, Ringkøbing amt; Steen Schwaerter, Vejle Amt; Finn Andersen og Svend Bråten, Nordjyllands Amt; Bent Sømod, Århus Amt. Kitte Linding Gerlich, Tanja Quottrup, Marlene Skjærbæk og Egon Frandsen, alle fra afdeling for Marin Økologi, DMU, har stået for laboratorieanalyserne. Projektet er finansieret af NOVANA F&U midler og EU-projektet 'Thresholds'.

REFERENCER

/1/Reinke, J. 1889: Algenflora der westlichen Ostsee deutchen Antheils. Eine Systematisch-Pflanzengeographische Studie. Sechster Bericht der Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der Deutchen Meere, 6: 1-101.

/2/ Hemminga, M.A. 1998: The root/rhizome system of seagrasses: an asset and a burden. Journal of Sea Research 39, 183-196.

/3/ Duarte, C.M., M. Holmer og N. Marbá. 2005. Plant-microbe interactions in seagrass meadows. I: Kristensen, E., Haese, R.R. Kostka J. (Red.) Macro- and Microorganisms in Marine Sediments. Coastal and Estuarine Studies 60. American Geophysical Union, s. 31-60.

/4/ Nielsen, S.L., Sand-Jensen, K., Borum, J. og Geertz-Hansen, O. 2002: Depth colonisation of eelgrass (Zostera marina) and macroalgae as determined by water transparency in Danish coastal waters. Estuaries 25, 1025–1032.

/5/ Duarte, C.M. 1992: Nutrient concentration of aquatic plants: Patterns across species. Limnology & Oceanography 37, 882-889.

/6/ Churchill, A.C. 1992: Growth-characteristics of Zostera marina seedlings under anaerobic conditions. Aquatic Botany 43, 379-392.

/7/ Borum, J., Pedersen, O., Greve, T.M., Frankovich, T.A., Zieman, J.C., Fourqurean, J.W. og Madden, C.J. 2005: The potential role of plant oxygen and sulphide dynamics in die-off events of the tropical seagrass, Thalassia testudinum. Journal of Ecology 93, 148-158.

/8/ Ostenfeld, C.H. 1908: I C.G.J. Petersen: Beretning til Landbrugsministeriet fra den danske biologiske station. København, Centraltrykkeriet XVI: 3-28.

Dorte Krause-Jensen, er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet, Afd. for Marin Økologi i Silkeborg. dkj@dmu.dk

Peter Bondo Christensen er journalist og seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet, Afd. for Marin Økologi i Silkeborg. pbc@dmu.dk

Søren Laurentius Nielsen er lektor ved Roskilde Universitetscenter, Inst. for Miljø, Samfund og Rumlig Forandring. nielsen@ruc.dk

Jacob Carstensen er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet, Afd. for Marin Økologi i Roskilde. jac@dmu.dk

Michael Bo Rasmussen er seniorrådgiver ved Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet, Afd. for Marin Økologi i Silkeborg. mir@dmu.dk Boks 1 Store brunalgearter i Grønland: