Ålegræs og klimaforandringer

i Kattegat- og Skagerrakområdet

Rapport fra projekt Hav møder Land

Hav møter Land

Klima vatten samfundsplanlæging sammen

Rapportnummer: 20
Rapportnummer hos Länsstyrelsen: 2013:45
ISSN: 1403-168X

Författare: Jonas Ribergaard Rasmussen, Jonathan Havenhand og Peter Grønkjær
Utgivare: Hav möter Land, Länsstyrelsen i Västra Götalands län
Omslagsfoto: Claes Hillén
Ämnesord: ålegræs, klimaforandringer, temparaturstigning, forsuring, vejrforhold

Rapporten finns på www.havmoterland.se

Indhold

Sammenfatning **4**

1. Baggrund **5**

1.1. Ålegræsset *5*

1.2. Udbredelse i regionen *5*

2. Klimaforandringer i Kattegat-Skagerrak regionen **7**

3. Forventede effekter på ålegræsset **9**

3.1. Effekter af temperaturstigning *9*

3.2. Effekter af øget CO_2 ..... *10*

3.3. Vejr og vandstand *11*

3.4. Makroalgernes betydning i fremtiden *14*

4. Opsummering **16**

5. Litteratur **17**

Sammenfatning

Generelt ventes det ikke, at klimaforandringerne vil føre til store ændringer i den overordnede udbredelse af ålegræs i Kattegat-Skagerrak regionen. De forventede forandringer kan desuden have både positive og negative indvirkninger på ålegræsset, og lokale forhold kan derfor få stor betydning for, hvordan ålegræsset vil reagere.

De primære klimarelaterede forandringer, der kan få betydning for ålegræsset, er:

- Temperaturstigning:
  Vandtemperaturer over 25 °C er skadelige for ålegræsset, og der kan således ventes negative effekter på udbredelsen i lavvandede og beskyttede områder, hvor vandtemperaturen overstiger denne grænse i kortere eller længere perioder. I områder, der ikke når kritiske temperaturer, kan fremtidige temperaturstigninger derimod have en positiv effekt på ålegræssets årlige produktion, da den årlige produktion forøges.

- Øget tilgang til CO_2:
  Forsuring af havene giver lettere tilgang til CO_2, hvilket kan føre til øget produktion af ålegræs, som ofte er kulstofbegrænset under de nutidige forhold. Det er dog usikkert hvor vidt den forventede forsuring af de åbne oceaner kan overføres til de kystnære områder, som er langt mere variable og påvirkes af processer både internt og på landjorden. Ligeledes er det usikkert hvor vidt en øget tilgang til CO_2 vil have betydning under de højere temperaturer i fremtiden.

- Ændringer i vejrforhold:
  Øgede nedbørsmængder og kraftigere regnfald kan i fremtiden betyde en øget udvaskning af sediment og næringsstoffer fra land. Dette kan have betydning for vandets klarhed og dermed ålegræssets lystilgængelighed, ligesom produktionen af drivende makroalger, der generelt har negativ indvirkning på ålegræsset, kan stige med øget næringsstoftilgængelighed. I tillæg kan en højere frekvens af voldsomme vejrforhold føre til tab af ålegræs populationer på lavt vand, da der bliver kortere tid til at reetablere bestandene mellem de enkelte storme.

Ålegræssets respons på forandringerne i klimaet er desuden i høj grad styret af indirekte sammenhænge, som ofte har relation til ændringer i de forskellige led af fødekæden. Betydningen af klimaforandringerne for de kystnære samfund er således forbundet med både næringsbelastningen og fisketrykket, og det er derfor muligt, at vi i en tid med forandringer i klimaet får brug for strammere regulering af næringsudledninger og fisketryk, hvis vi skal gøre os forhåbninger om at få de vidtstrakte ålegræsenge tilbage.

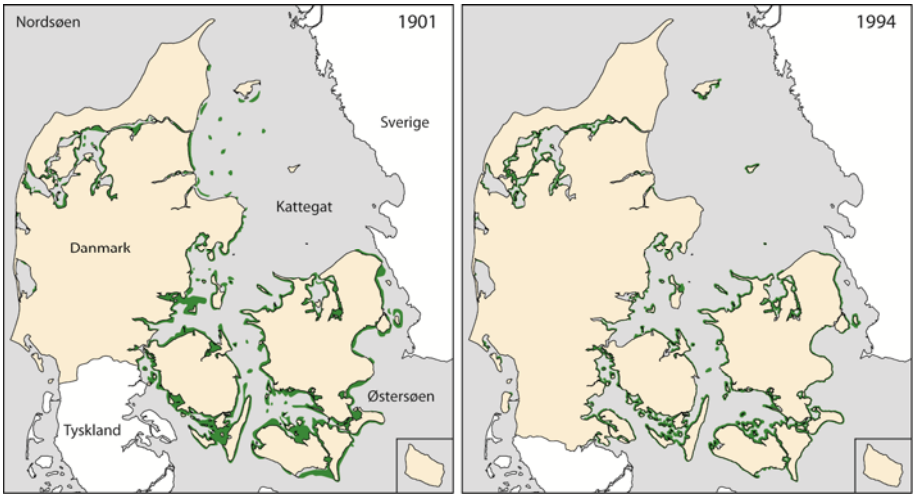
1. Baggrund

1.1. Ålegræsset

Ålegræsset (*Zostera marina*) er en af de mest karakteristiske og vigtige arter i de kystnære skandinaviske blødbundssamfund. Med sit netværk af rødder og rhizomer er ålegræsset blandt de få arter, som er i stand til at fasthæfte sig i det ustabile underlag, og ålegræsbedene skaber derved struktur i områder, som ellers ville være dominerede af bare sandflader. Således sikrer ålegræsset en høj produktion og artdiversitet i kystområderne, hvor de vidtstrakte ålegræsenge samtidig virker stabiliserende på havbunden og fungerer som et naturligt kystværn. De lange blade bremser vandets bevægelse og dæmper bølgeslaget, hvilket øger bundfældningen, og det kraftige rodnet holder på bunden og modvirker resuspension af det fine materiale. Ålegræsbedene bidrager dermed til at holde vandet klart, hvilket er til gavn for deres egen vækst. Ligeledes fungerer de kystnære ålegræsbede som opvækst- og fødesøgningsområder for en række af kommercielt vigtige fiskearter samt som fødekilde for flere fuglearter. En stor del af ålegræssets egen vækst begraves desuden i havbunden, hvorved der oplagres både kulstof og næringsstoffer.

1.2. Udbredelse i regionen

Fra naturens side byder Kattegat og Skagerraks kyster på særdeles favorable forhold for ålegræsset. Her er mange lavvandede områder med sandet bund, middelhøje saltholdigheder og sommertemperaturer, der sjældent kommer meget over 20 °C. I Skandinavien som i resten af verden har ålegræsset og de øvrige havgræsser dog oplevet stor tilbagegang gennem flere årtier. Eksempelvis anslås den nutidige udbredelse af ålegræs i danske vande til at være blot 20-25 % af den oprindelige (Figur 1; Boström et al. 2003), og på den svenske vestkyst er ålegræssets udbredelse ligeledes reduceret med godt 60 % siden 1980'erne (Baden et al. 2003; Nyqvist et al. 2009). I denne sammenhæng er den mere Atlanterhavs-påvirkede sydnorske kyst det positive eksempel, da ålegræsset i dette område er gået gradvist frem siden ålegræssygen i 1930'erne (infektion med slimsvampen *Labyrinthula zosterae*) (Johannesen et al. 2011).

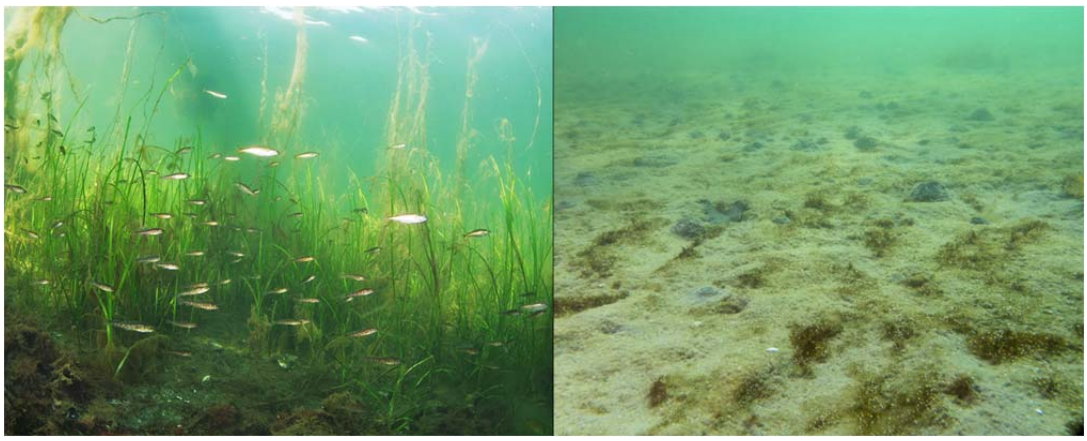


Figur 1: Kort over Danmark visende den omtrentlige udbredelse ålegræs i hhv. 1901 og 1994. Gentegnet efter Boström et al. 2003

Tilbagegangen i ålegræssets udbredelse har været en kombination af naturlige og menneskabte problemer. Udbruddet af ålegræssygen i 1930'erne resulterede i markant tilbagegang i hele udbredelsesområdet, og sidenhen har dårlige lysforhold, som følge af høj næringsbelastning fra land, samt fysisk forstyrrelse fra bundskrabende fiskeredskaber medvirket til, at bestandene aldrig har genvundet tidligere tiders udbredelse.

I dag er tilførslen af næringsstoffer til de indre farvande reduceret kraftigt som følge af forbedret spildevandsrensning og reguleringer i anvendelsen af gødning i landbruget. Trods dette har der ikke været betydelig fremgang i udbredelsen af ålegræs i størstedelen af regionen, hvor blandt andet dårlige lysforhold, ændrede sedimentforhold og konkurrence med hurtigt voksende makroalger stadig er begrænsende.

Man skelner ofte mellem to såkaldte regimer i blødbundssamfundene (Figur 2). Det oprindelige regime mange steder var domineret af vidtstrakte ålegræsenge, som stabiliserede bunden og derved sikrede klart vand ved at minimere resuspensionen af partikler og næringsstoffer. Det regime vi ser mange steder i dag er derimod domineret af bare sedimentoverflader med løst liggende forekomster af makroalger. Her er der ikke noget til at stabilisere bunden, og der sker ofte ophvirvling af både partikler og næring, som sætter gang i algerne og skaber uklart vand. De to regimer er selvforstærkende hver især. Det klare vand i ålegræs-regimet skaber gode betingelser for ålegræsset, som kan brede sig og stabilisere bunden yderligere, hvorimod de dårlige lysforhold barbunds-regimet gør det svært for ålegræsset at etablere sig. Således er der ikke noget til at holde på bunden, og partikler og næringsstoffer vil blive bragt op i vandsøjlen igen og igen.



Figur 2: Ålegræs bedene skaber stabilitet, struktur og skjulesteder i forhold til den bare sandbund, som ofte er alternativet. Fotos: Jonas Thormar

Vi ved i dag en hel del om hvilke faktorer, der styrer ålegræssets udbredelse og begrænser dets tilbagevenden, og spørgsmålet er nu, hvilken betydning forandringerne i klimaet vil have for ålegræssets udbredelsesmønstre i fremtiden. På baggrund af eksisterende viden om havgræssers respons på klimarelaterede parametre giver rapporten her et bud på, hvordan klimaforandringerne kan påvirke forekomsten af ålegræs i Kattegat-Skagerrak regionen i fremtiden.

2. Klimaforandringer i Kattegat-Skagerrak regionen

De globale klimaforandringer kan i dag måles og statistisk påvises i form af stigende global gennemsnitstemperatur, stigende havniveau og faldende isdække på den nordlige halvkugle (IPCC 2007). Modelberegninger forudser endvidere, at stigningen i den globale gennemsnitstemperatur vil fortsætte i fremtiden.

Også i Kattegat-Skagerrak regionen kan disse globale forandringer observeres; f.eks. i form af en vækstsæson, der er forlænget med 3-4 uger siden 1982, samt en gradvis indvandring af plante- og dyrearter, der tidligere har været mest udbredte længere sydpå (Søndergaard et al. 2006). De forventede forandringer i klimaet vil ligeledes påvirke de marine miljøer, og de primære klimarelaterede ændringer, der kan påvirke ålegræssets trivsel, forventes at være:

- Øget koncentration af CO_2 i havet
- Generel stigning i overfladetemperatur
- Ændring i nedbørsforhold
- Højere frekvens af ekstreme vejrtyper

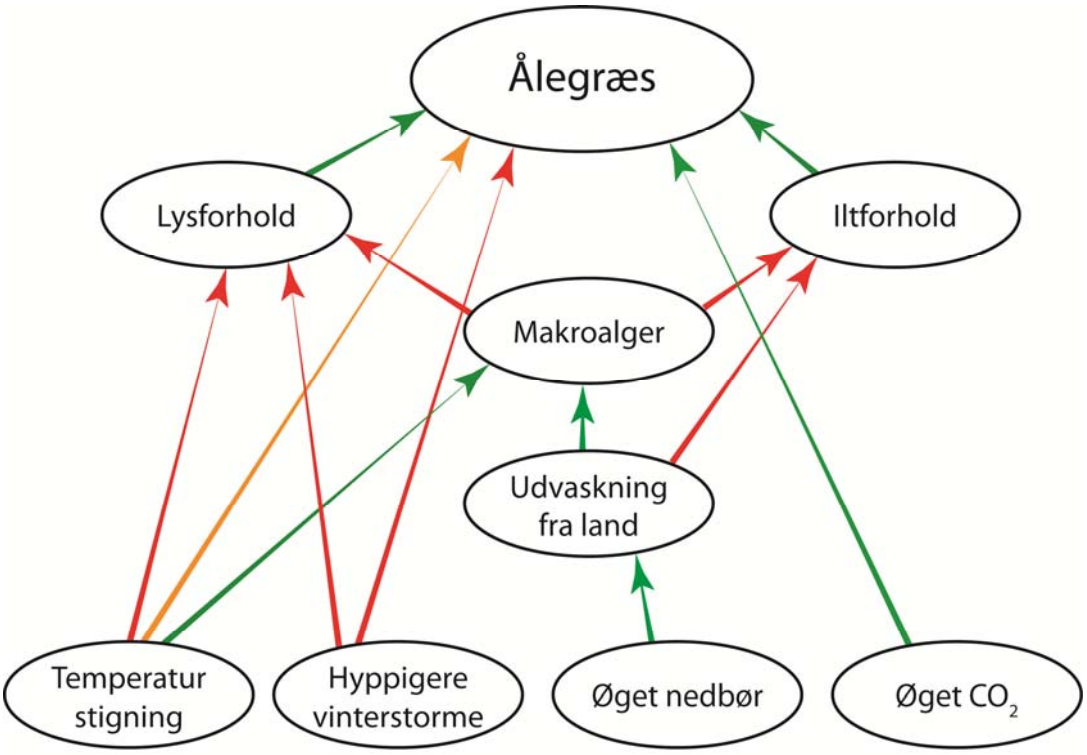
Mængden af CO_2 i atmosfæren er til dels styret af naturlige kilder som vulkanudbrud, skovbrande og organismers respiration. I nyere tid er disse dog blevet overskygget af en udledning fra menneskelige kilder. Det drejer sig specielt om forbrænding af fossile brændstoffer og skovfældning/afbrænding samt visse industrielle processer som eksempelvis fremstilling af cement. Disse aktiviteter steg kraftigt i løbet af det 20. århundrede, hvilket blandt andet har udmøntet sig i en 35 % stigning i atmosfærens CO_2-indhold siden den industrielle revolution. Såfremt udledningerne fortsætter i samme takt forudser modelberegninger fra FN's klimapanel (IPCC) yderligere en fordobling i atmosfærens CO_2 indhold inden år 2100 (IPCC 2001), og efter som CO_2 udveksles mellem luft og hav vil den øgede mængde CO_2 i atmosfæren ligeledes føre til et øget indhold af opløst CO_2 i havet.

CO_2 er en drivhusgas, der reflekterer jordens varmestråling tilbage til jordoverfladen, og dermed skaber en drivhuseffekt. I samspil med naturlige variationer i solens indstråling medfører den øgede mængde af CO_2 og andre drivhusgasser (f.eks. metan og lattergas) i atmosfæren, at der sker en gradvis opvarmning af jordkloden. Ud fra IPCC's A2 scenarie, der beskrives som "business-as-usual", anslås det således, at Kattegat-Skagerrak regionen vil opleve en gennemsnitlig stigning i lufttemperaturen på 2-4 °C hen mod slutningen af dette århundrede. Stigningen forventes at være højere om vinteren (3-4 °C) i forhold til om sommeren (2-3 °C), men man regner med en gennemsnitlig stigning i overfladevandets temperatur på omkring 3 grader (Søndergaard et al. 2006).

Den globale temperaturstigning er dog ikke jævnt fordelt over jordkloden (IPCC 2007). Specielt de arktiske egne forventes at blive hårdt ramt med temperaturstigninger op til 7 °C, hvilket vil medføre en øget afsmeltning fra de arktiske gletchere og iskapper. Denne øgede afsmeltning betyder mere vand i oceanerne, og dermed en svag stigning i vandstanden. Den store effekt kommer dog mere direkte i form af den højere vandtemperatur, som vil få vandet til at udvide sig, og sammenlagt forventes der en

vandstandsstigning på op mod en halv meter med udgangen af dette århundrede (Søndergaard et al. 2006).

Klimaforandringerne forventes ligeledes at give ændringer i nedbørsforhold og frekvensen af kraftige storme. Generelt ventes mere nedbør i Skandinavien, men det vil være ulige fordelt; både i tid og sted. Modellerne viser, at der i Danmark gennemsnitligt vil falde 10-25 % mindre regn i sommerperioden, samt at regnen vil være fordelt på færre, men kraftigere, regnskyl end vi er vante til i dag. Om vinteren vil der derimod falde 25-50 % mere nedbør end det er tilfældet i dag, og der vil ligeledes være en stigning i frekvensen af kraftige vinterstorme. Tilsvarende forandringer tegner sig for det sydlige Norge, der sammen med den vestlige del af Danmark bliver hårdest ramt af forandringerne, efter som vinde fra sydvestlige retninger fortsat vil være dominerende (Søndergaard et al. 2006; Hanssen-Bauer 2012).



Figur 3: Konceptuel model der viser direkte og indirekte effekter af klimaforandringerne på ålegræsset. Grønne pile indikerer positive relationer, røde pile er negative og den orange kan være enten positiv eller negativ afhængig af lokale forhold. Pilene må dog ikke ses som endegyltige, da de kan påvirkes af indirekte sammenhænge (se f.eks. Alsterberg et al. 2013)

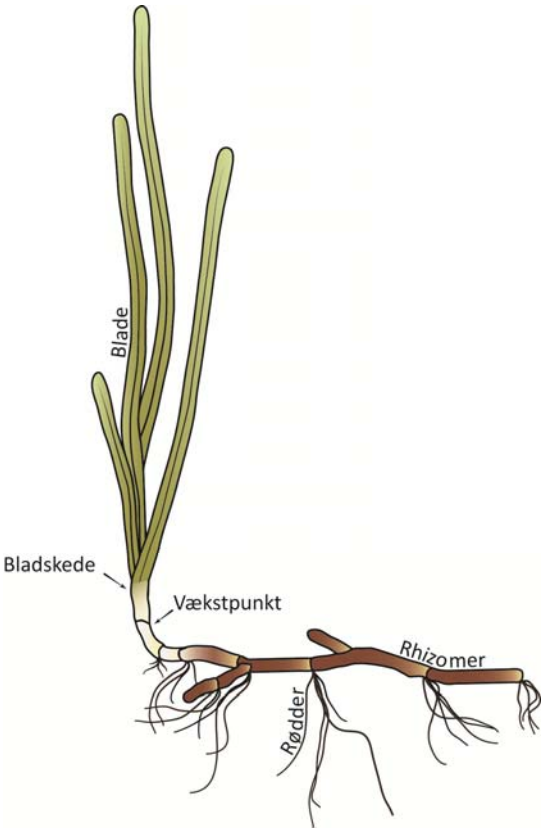
3. Forventede effekter på ålegræsset

3.1. Effekter af temperaturstigning

Flere videnskabelige eksperimenter har gennem tiden beskrevet temperaturens betydning for ålegræssets trivsel, og man ved i dag, at der er direkte sammenhæng mellem vandtemperaturen og ålegræssets interne ilttransport og kulstofbalance.

I Kattegat-Skagerrak regionen ligger ålegræssets optimaltemperatur normalt mellem 10 og 20 °C, mens væksten falder og dødeligheden stiger ved temperaturer over 25 °C (Nejrup and Pedersen 2008). Af samme grund finder begivenheder med masseuddød af ålegræsbede oftest sted i sensommeren, hvor vandtemperaturen er højest. De største virkninger af øget vandtemperatur forventes således at finde sted i yderkanterne af artens udbredelsesområde, hvor planterne i forvejen vokser på grænsen af deres fysiologiske formåen (Koch et al. 2013). Kattegat-Skagerrak regionen ligger derimod i hjertet af ålegræssets udbredelsesområde, og vandtemperaturerne når sjældent meget over 20 °C på de åbne kyster. Så selv med en temperaturstigning på 3 °C vil vandtemperaturen kun sjældent nå et kritisk niveau på de åbne kyster. I disse områder kan en temperaturstigning omvendt føre til en øget produktion af ålegræs, da vandtemperaturen ligger indenfor ålegræssets temperaturoptimum i en større del af vækstsæsonen. Derved kan ålegræsset opnå en højere årlig vækst, som det typisk ses under mere sydlige himmelstrøg. I lavvandede og beskyttede områder kan vandtemperaturen allerede i dag nå kritiske højder i varme somre. I disse områder, samt i områder der oplever dårlige iltforhold i varme perioder, kan der således forekomme lokale negative effekter, og risikoen for massedød af ålegræs forøges ligeledes med stigende temperatur.

En væsentlig grund til ålegræssets temperaturfølsomhed er, at planternes metabolisme stiger med vandtemperaturen, samt at de er afhængige af en konstant intern transport af ilt for at dække energibehovet i rødder og rhizomer, der vokser i det oftest iltfrie sediment. Rødder og rhizomer skal således bruge mere ilt for at dække behovet til respiration i varmt vand end i koldt. Under normale omstændigheder bliver den nødvendige mængde ilt produceret af planten selv gennem fotosyntesen eller optaget gennem bladene ved diffusion fra det omgivende vand (Greve et al. 2003). Et højere iltbehov i forbindelse med høje vandtemperaturer

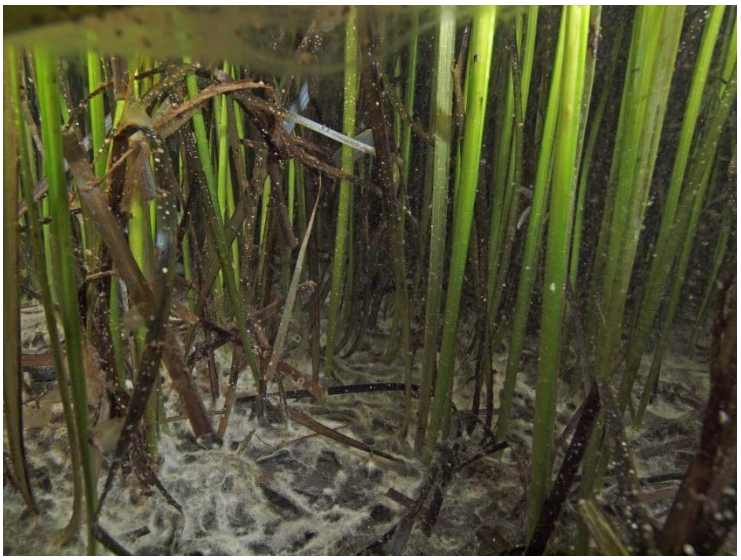


Figur 4: Ålegræssets opbygning med rødder, rhizom (jordstængel) og blade. Vækstpunktet sidder ved sedimentoverfladen og producerer både blade og rhizom

stiller derfor større krav til både lys- og iltforholdene, hvor planten vokser.

Ålegræssets vækstpunkt ligger omkring sedimentoverfladen (Figur 4), og dette aktive væv er specielt følsomt overfor iltmangel. Forsøg har vist, at vækstpunktet ved temperatur på 25 °C bliver iltfrit om natten selv ved 60 % iltmætning af vandet. Tilsvarende vil der ved 15 °C være ilt til stede selv om vandet blot er 30 % mættet, mens vækstpunktet vil være iltfrit om natten selv i 100 % iltmættet vand ved 30 °C (Raun and Borum 2013). Hyppigere iltstress er således en naturlig effekt af øget temperatur, og til trods for at ålegræsset er tilpasset til at overleve i områder, hvor dårlige iltforhold må forventes at forekomme, er planterne overraskende følsomme overfor iltmangel (Pulido and Borum 2010).

En utilstrækkelig forsyning af ilt til rødder og rhizomer bevirker, at energibehovet må dækkes ved anaerob (iltfri) respiration, som er væsentlig mindre effektiv i forhold til den normale aerobe (iltkrævende) respiration. Derfor lægges et stort pres på kulstofreserverne, samtidig med at der kan ophobes skadelige metabolitter som alkohol og mælkesyre (Raun and Borum 2013). Ved 20 °C vil man således kunne se effekter på overlevelsen af ålegræs efter 24 timers eksponering til iltmangel, mens effekterne indtræder allerede efter 12 timers eksponering ved 25 °C og blot 4 timer ved 30 °C (Pulido and Borum 2010). Til sammenligning kan andre plantearter, som f.eks. *Iris pseudacorus*, der vokser i vådområder, klare op til 2 mdr. uden ilt.



Figur 5:De hvide svovlbakterier er et sikkert tegn på dårlige iltforhold ved sedimentoverfladen. Det stiller store krav til ålegræssets interne ilttransport. Foto: Jonas Thormar

Processerne i sedimentet er ligeledes påvirkede af vandtemperaturen, og forandringer i sedimentets biogeokemi i forbindelse med øget vandtemperatur kan have betydning for ålegræsset. Sedimentets iltforbrug og sulfat-reduktionsrate vil ofte stige med temperaturen (Arnosti et al. 1998), hvilket kan øge ålegræssets iltkrav for at sikre aerob metabolisme i de underjordiske dele samt forhindre indtrængning af giftigt sulfid gennem rødderne (Höffle et al. 2011). Sulfid-forgiftning har i flere tilfælde været forbundet med massedød af havgræsser i forbindelse med høje temperaturer og dårlige iltforhold (Koch and Erskine 2001).

3.2. Effekter af øget CO_2

Opløst uorganisk kulstof (Dissolved Inorganic Carbon - DIC) findes på en række forskellige former, hvoraf de primære i denne sammenhæng er kuldioxid (CO_2) og bikarbonat (HCO_3^-). De relative mængder af hver afgøres af vandets pH, og i havvandet, der har en pH omkring 8 (Hansen 2012), findes størstedelen som bikarbonat.

Alle planter er i stand til at optage CO_2, men adgangen til dette kan være begrænset under vand. Derfor har langt de fleste vandplanter således mekanismer, der gør dem i stand til at udnytte de rige forekomster af bikarbonat. Ålegræsset kan ikke optage bikarbonat direkte, så for at udnytte denne ressource må bikarbonat først omdannes til CO_2, hvilket sker ved at udskille et kulsyreanhydrase enzym i cellevæggen (Koch et al. 2013). Det er dog en forholdsvist dyr proces for planterne, og da tilgængeligheden af CO_2 er begrænset, er planterne i mange tilfælde kulstof-begrænsede i praksis.

Stigende CO_2 i atmosfæren betyder samtidig øget [DIC] i vandet, da disse står i ligevægt.

$$CO_2 \leftrightarrow CO_2(aq)$$

$$CO_2(aq) + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H_3O^+$$

Den forventede fordobling i atmosfærisk CO_2 vil derfor medføre en øget tilgængelighed af kulstof i havet. Det vil findes i form af bikarbonat, men ikke mindst vil en større andel findes som opløst CO_2, da pH samtidig sænkes (ved dannelse af H_3O^+) og forskyder ligevægten i retning af CO_2.

Det er dog fortsat usikkert, hvor vidt det fald i pH, som er forventet for de åbne oceaner, kan overføres til de kystnære områder, hvor ålegræsset findes. I forhold til de åbne oceaner, hvor pH er forholdsvist stabil, påvirkes de kystnære områder i langt højere grad af processer både internt og på landjorden, hvilket gør pH mere variabel (Duarte et al. 2013). Målinger af pH i de indre danske farvande siden 1960 har da heller ikke vist nogen generel stigning i pH, men snarere et svagt fald over de sidste to årtier. Udviklingen kan dog variere meget mellem områder, så det er svært at give nogle generelle forudsigelser.

Et fald i pH og dermed en lettere tilgang til kulstof ventes at kunne have en positiv effekt på ålegræsset. Forsøg har vist at CO_2 berigning generelt fører til øget fotosyntese, øget vækst og højere reproduktivt output for ålegræs (Palacios and Zimmerman 2007). Effekterne af CO_2 berigning er umiddelbart størst når planterne ikke samtidig er begrænsede af for lidt lys, men øget tilgængelighed af CO_2 kan ligeledes føre til lavere lyskrav, da udgifterne i forbindelse med udnyttelse af bikarbonat mindskes (Zimmerman et al. 1997). Et mesocosm eksperiment viste dog, at effekten af øget CO_2 forsvandt ved samtidig hævning af temperaturen, så nettoeffekten af samtidige stigninger i CO_2 og temperatur er fortsat usikker og afhænger formentlig af indirekte faktorer som antallet af græssere og tilgængeligheden af næringsstoffer i vandet (Alsterberg et al. 2013).

3.3. Vejr og vandstand

Ålegræs vokser normalt på dybder fra omkring 0,5-1 m og op til 5-6 m. Den øvre grænse bestemmes primært af fysiske forhold som bølgepåvirkning i hårdt vejr og risiko for udtørring ved ekstremt lavvande. Den nedre grænse derimod er ikke påvirket af disse faktorer, men styres primært af lystilgængelighed og dermed mængden af partikler, pigmenter og farvet opløst organisk stof i vandet. Man regner normalt med, at ålegræsset under naturlige forhold kan vokse ud til den dybde, hvor ca. 25 % af overfladelyset er tilbage, mens der på dybere vand vil være for lidt lys tilgængeligt til at planterne kan klare sig igennem stressfulde perioder (Krause-Jensen et al. 2011). Til sammenligning er mange alger i stand til at vokse ved markant lavere lysintensiteter.

Klimamodellerne forudser en øget mængde nedbør i Kattegat-Skagerrak regionen i fremtiden; specielt i vinterhalvåret. Desuden vil nedbøren falde mere koncentreret og

vinterstorme vil forekomme hyppigere. En øget mængde nedbør betyder, at der vil være en større afstrømning fra land, og dermed at der potentielt kan udvaskes flere næringsstoffer til de kystnære områder, hvilket giver flere alger.

Under antagelse af at alle andre forhold er uændrede vil dette betyde en forøget udvaskning af kvælstof og fosfor på hhv. 12 % og 8 % i Danmark (Søndergaard et al. 2006), og dermed potentielt dårligere lysforhold, som ålegræsset er specielt følsomt overfor. Næringstransporten er størst om vinteren, hvor størstedelen af nedbøren vil falde, og dermed forventes især forårsopblomstringen af mikroalger at blive kraftigere. Kraftigere algeopblomstringer betyder tilsvarende, at der er mere organisk materiale, der skal nedbrydes i løbet af sommeren, hvilket øger risikoen for iltsvind. Der er dog mange ukendte faktorer i disse betragtninger. For eksempel er der ikke taget højde for ændringer i landplanternes næringsoptag og den bakterielle nedbrydning samt nitrifikations og denitrifikations-rater ved de forventede højere temperaturer.

Mere nedbør vil ikke blot resultere i en øget udvaskning af næringsstoffer, men kraftigere regnfald og større vandmængder vil ligeledes betyde øget erosion i vandløbene og dermed en større transport af partikler til de kystnære områder. I kystområderne vil de opslæmmede partikler skygge for lyset i lighed med fytoplankton og yderligere forringe lysforholdene.

Udvaskning af både næringsstoffer og partikler fra land er dog i høj grad relateret til vandløbenes fysiske form. Regulerede og opgravede vandløb er dårlige til at holde på vandet, hvilket resulterer i stor erosion, hvorimod naturlige vandløb med rig kantvegetation og vandplanter er mere stabile. Ligeledes er udvaskningen stærkt afhængig af jordanvendelsen i oplandet, hvor drænet landbrugsjord giver langt højere belastning med både næringsstoffer og sediment sammenlignet med skov eller brakmark.

Figur 6: Ålegræsset er afhængigt af lys til at drive fotosyntesen. Vandets klarhed er derfor i høj grad bestemmende for hvor dybt ålegræsset kan vokse. Foto: Peter Bondo Christensen

Den større mængde nedbør på dansk, norsk og svensk jord vil ikke have den store betydning i forhold til saltholdigheden i Kattegat-Skagerrak, da der er stor udveksling af vand med den salte Nordsø. Til gengæld forventes det, at Østersøen, som er afgrænset af store landmasser i alle retninger, vil blive mere fersk. Ålegræsset trives bedst ved saltholdigheder på over 5 ‰ (Nejrup and Pedersen 2008), så stigende nedbørsmængder kan gradvist presse ålegræssets udbredelse i Østersøen længere vestpå mod højere saltholdigheder.

Den forventede vandstandsstigning på omkring en halv meter vil påvirke ålegræsset gennem lystilgængeligheden, og effekten er således afhængig af vandets klarhed. Ligeledes må effekten af en vandstandsstigning forventes at variere mellem lokaliteter alt efter om planterne har mulighed for at brede sig mod lavere vand. En vandstandsstigning forventes derfor at have begrænset betydning langs de flade danske kyster, mens det kan betyde reduceret udbredelse langs norske og svenske klippekyster, hvor der ikke er mulighed for spredning til lavere områder.

På lavt vand er ålegræssets udbredelse primært begrænset af de fysiske påvirkninger fra vind og bølger. Hyppigere og kraftigere vinterstorme i fremtiden kan derfor få betydning for populationerne på lavt vand. Efter voldsomme vejforhold kan der ofte observeres erosion og fragmentering af ålegræsbede, og en højere frekvens af storme kan betyde, at bedene ikke har tid til at genvinde det tabte før næste storm indtræffer. På sigt kan dette betyde, at ålegræsset i udsatte områder vil blive presset væk fra det lave vand (< 1 m). Kraftige vinde resulterer desuden i resultere i resuspension af fint bundfældet materiale, som reducerer lystilgængeligheden; en effekt der er specielt udpræget i områder, hvor der er begrænset mængde af ålegræs til at stabilisere bunden.

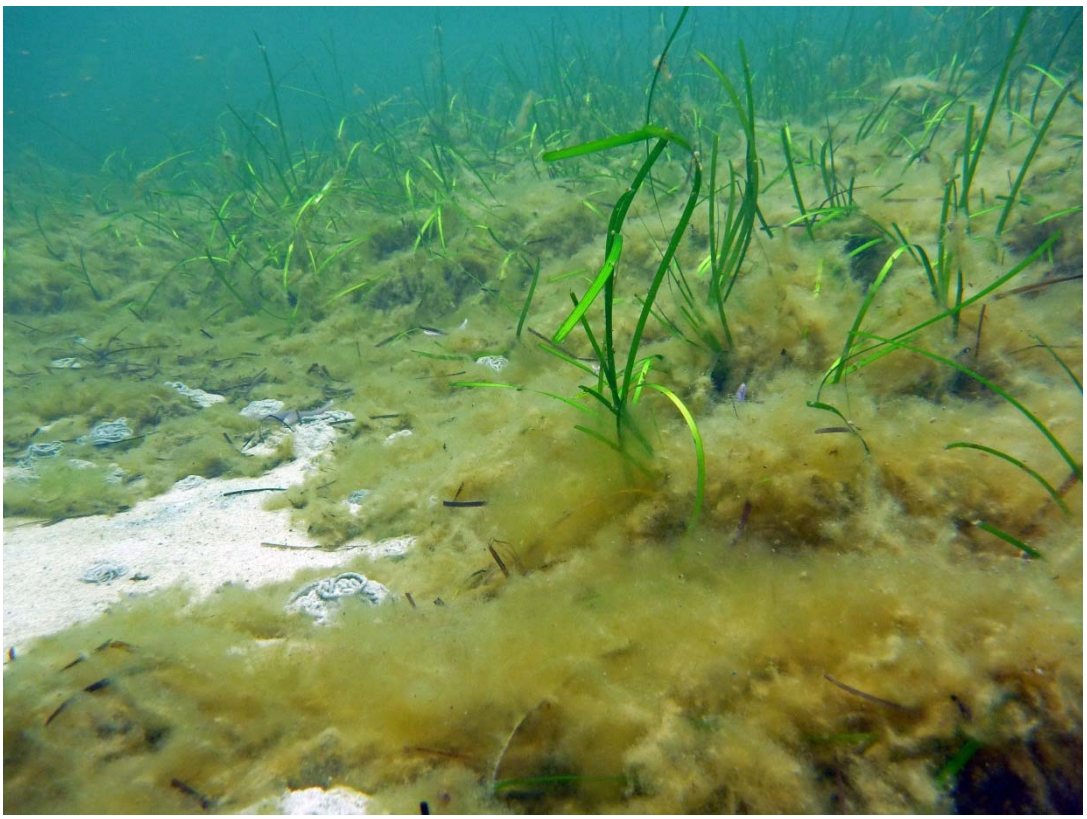
Erfaringer har vist at ålegræs relativt hurtigt kan genvinde tabt udbredelse efter tilfælde af lokal masseuddød, således at planternes biomasse i nogle tilfælde opnår det tidligere niveau efter blot et år (Greve et al. 2005). Dette skyldes i høj grad et højt reproduktivt potentiale, som bevirker, at der i ålegræsbede ofte findes et lager af uspirede frø i en størrelsesorden på op til 10-15’000 frø per kvadratmeter. Når der bliver lys og plads vil disse spire og gendanne det tabte bed. På vores breddegrader tager det dog normalt 2 år før et skud begynder at sætte frø, og problemerne for ålegræsset opstår derfor specielt når massedød i et område forekommer med kortere intervaller. Planterne vil da ikke nå at sætte frø, og frøbanken vil hurtigt blive udtømt.

Figur 7: Ålegræsset sætter frø under vandet, og frøplanterne er vigtige for artens spredning. Men de små frøplanter har et begrænset rodsystem, og er meget sårbare overfor mekaniske forstyrrelser. Foto: Peter Bondo Christensen

3.4. Makroalgernes betydning i fremtiden

Årtier med høje udledninger af næringsstoffer til de kystnære arealer har mange steder betydet, at hurtigt voksende tråd- og løvformede makroalger hvert år vokser op og danner tætte måtter i flere områder. Algerne er typisk ikke fasthæftede, men driver med strømmen indtil de bliver fanget i ålegræsbede eller af andre strukturer. I ålegræsbedene konkurrerer algerne med ålegræsset om pladsen og lyset, og massive forekomster af alger som f.eks. søsalat (*Ulva lactuca*), vatalge (*Ectocarpus siliculosus*) og vandhår (*Cladophora sp.*) har gennem årene været forbundet med tilbagegang og massedød for ålegræsset. Skygning og dårlige iltforhold under de tætte algeforekomster anses normalt som de primære faktorer, der påvirker tildækket ålegræs, men også ophobning af sulfid og ammonium under måtterne kan have betydning (Rasmussen et al. 2012).

I Danmark er udledningerne af kvælstof og fosfor blevet reduceret markant i forhold til starten af 1990'erne (Hansen 2012). Det er primært sket som følge af forbedret spildevandrensning og strammere regler for landbrugets brug af gødning. Den reducerede næringsbelastning har ført til et fald i dækningen af frit drivende alger langs de danske kyster, og disse menes ikke længere at udgøre et generelt problem for ålegræssets udbredelse i dette område (Rasmussen et al. 2013). Lokalt kan der dog endnu findes tætte forekomster af alger, og langs den svenske vestkyst dækker algemåtter stadig op mod 20 % af bunden i sommerperioden, og udgør her et stort problem for ålegræsset (Risinger 2012). Det er derfor interessant, hvordan klimaforandringerne vil påvirke makroalgerne og dermed indirekte også ålegræsset.



Figur 8: Ålegræs overgroet af trådalgen Almindelig vatalge (*Ectocarpus siliculosus*). Kraftige opblomstringer af trådalger kan kvæle ålegræsset og de dyr, der lever i bunden. Foto: Jonas Ribergaard Rasmussen

I modsætning til ålegræsset menes mange af de hurtigt voksende makroalger at være kulstof-mættede ved de nutidige [DIC], og det er derfor tvivlsomt om disse vil kunne drage nytte af en eventuel øget tilgang til kulstof i fremtiden (Koch et al. 2013). Derimod kan øget temperatur øge væksten og forlænge vækstsæsonen for mange hurtigt voksende arter, og der indikationer for, at øget kulstof tilgang kan øge algernes temperatur-optimum, ligesom det er set hos terrestriske planter. Således har eksperimenter i Sverige indikeret, at de hurtigt voksende alger kan opnå større biomasse ved en 3,4 °C opvarmning af vandet i forhold til naturlige sommerforhold, samt at effekten blev øget yderligere ved tilsætning af CO_2 (Eklöf et al. 2012). Responserne til højere temperaturer og øget [DIC] varierer dog mellem forskellige arter af alger, og det er derfor også sandsynligt, at klimaforandringerne vil føre til ændringer i arternes indbyrdes dominansforhold, ligesom vi kan få indvandring af varmetilpassede arter fra sydlige områder.

Opblomstringerne af alger kan dog holdes nede hvis der er mange græssere i et område. Dette kræver sunde bestande af specielt tanglopper (Amphipoda) og tanglus (Isopoda), der kan indtage så store mængder af alger, at de tætte måtter aldrig opstår på trods af tilgængelig næring. Tætheden af græssere i et område kontrolleres til dels af deres fjender, der typisk er mindre fisk som kutlinger og hundestejler. Disse spises igen af de større rovfisk; specielt torsk og ørred. Denne sammenhæng betegnes top-down kontrol og betyder i praksis, at mængden af alger er relateret til antallet af store rovfisk. Således forventes der flere alger i takt med, at der bliver færre store rovfisk. I Kattegat-Skagerrak regionen spiller specielt torsken en vigtig rolle som top-prædator, og algeforekomsterne langs den svenske vestkyst menes at hænge sammen med den generelle nedgang i torskebestanden, hvilket formentlig er relateret til overfiskeri (Baden et al. 2012). Torsken i dette område lever nær dens sydlige udbredelsesgrænse, og sommertemperaturerne kommer ofte over torskens optimaltemperatur. Set i et klimamæssigt perspektiv er der således indikationer for at temperaturstigninger kan have en negativ virkning på torskebestanden i Kattegat-Skagerrak regionen (Rogers et al. 2011), og det er derfor muligt, at torskebestanden kan få svært ved at genetableres trods reduktioner i fisketrykket. Således vil der fortsat vil være høje prædationsrater på græsserne, og da græsserenes evne til at kontrollere algerne desuden nedsættes med stigningen i temperatur, er det sandsynligt, at makroalger vil udgøre et stigende problem i fremtiden, hvis ikke næringsbelastningen reduceres.

Figur 9: Juvenile torsk er en af de vigtigste top-prædatorer i ålegræsbedene, og de spiller derfor en vigtig rolle i fødekæden. Foto: Jonas Thormar

4. Opsummering

I Kattegat-Skagerrak regionen forventes de globale klimaforandringer i løbet af dette århundrede at resultere i en stigning i vandtemperaturen på godt 3 °C samt en øget tilgængelighed af kulstof i vandet. Ligeledes forventes en stigning i mængden af nedbør, samt en øget frekvens af ekstreme vejrtyper; specielt vinterstorme. Disse forandringer kan både direkte og indirekte have betydning for overlevelse og udbredelse af ålegræs i regionen.

Kattegat og Skagerrak ligger i hjertet af ålegræssets udbredelsesområde i Europa, og temperaturstigninger omkring 3 °C anses således ikke for at føre til markante ændringer i ålegræssets trivsel og udbredelse. Direkte negative temperatureffekter vil formentlig være begrænsede til lavvandede områder med lille vandudskiftning, hvor vandtemperaturen kan nå op over 25 °C gennem længere perioder i løbet af sommeren. Omvendt kan områder med lavere temperaturer opnå en højere produktion, da vandtemperaturen er optimal i en større del af vækstsæsonen. Forhøjede temperaturer kan dog også betyde øget risiko for lokalt iltsvind, evt. i forbindelse med algemåtter, samtidig med at ålegræssets tolerance for lave iltkoncentrationer mindskes.

En øget tilgang til kulstof betyde, at ålegræsset i mindre omfang end i dag vil være begrænset af kulstofmangel, og tilsætning af CO_2 har i flere eksperimenter betydet øget vækst af ålegræs. Hvor vidt ålegræsset vil opleve øget tilgængelighed af CO_2 i de kystnære områder er dog usikkert, og netto-effekterne af øget temperatur og højere [DIC] er ligeledes svære at spå om på længere sigt og afhænger formentlig af lokale forhold.

Den mest direkte og synlige effekt af klimaforandringer på ålegræsset vil sandsynligvis være tab af udsatte populationer på lavt vand som følge af en øget frekvens af storme. Ligeledes kan det blive et problem for ålegræsset, hvis opblomstringer af makroalger i fremtiden bliver mere udbredte, som følge af højere udvaskning af næringsstoffer, mindre græsning fra smådyr og højere vækstrater i et varmere klima.

Generelt anses klimaforandringer ikke for at være den største direkte trussel mod ålegræsset og de øvrige havgræsser, som mange steder står overfor langt mere akutte udfordringer (Grech et al. 2012). Som det indikeres flere steder i de foregående afsnit, er det heller ikke blot de direkte effekter af højere temperatur og øget CO_2, som vil have betydning for ålegræsset, men indirekte effekter som følge af ændringer i samfundsstruktur og fødekæder ventes at få mindst lige så stor betydning (Alsterberg et al. 2013). Det er derfor nødvendigt at se disse samfund i et større sammenhængende perspektiv, hvor næringsbelastning og fisketryk menes at være nogle af nøgleparametrene.

I Kattegat-Skagerrak regionen vurderes eutrofiering, og de sideeffekter der er forbundet hermed, at være den største trussel for ålegræsset. Dårlige lysforhold, opblomstringer af hurtigt voksende alger, organisk rigt sediment, iltsvind m.fl. er alle faktorer, der er relaterede til tidligere tiders høje næringsbelastning, og som udgør reelle trusler for ålegræsset i dag. Et højt fisketryk forstærker effekterne af eutrofieringen, og meget tyder på, at klimaforandringerne vil have en yderligere forstærkende virkning. Klimaforandringernes konsekvenser for ålegræsset og de kystnære økosystemer vil derfor afhænge af den fremtidige næringsbelastning og fisketrykket på bestandene af store rovfisk i regionen. Så selv om udledningerne af næringsstoffer bliver mindsket gradvist er spørgsmålet, hvilke yderligere tiltag der må tages, hvis vi vil sikre sunde ålegræsbestande i fremtiden, samt i hvor høj grad forandringerne i klimaet vil modvirke dette.

5. Litteratur

Alexandre, A., Silva, J., Buapet, P., Bjork, M., og Santos, R. 2012. Effects of CO_2 enrichment on photosynthesis, growth, and nitrogen metabolism of the seagrass *Zostera noltii*. Ecology and Evolution, 2: 2620-2630.

Alsterberg, C., Eklöf, J.S., Gamfeldt, L., Havenhand, J.N., Sundbäck, K. 2013. Consumers mediate the effects of experimental ocean acidification and warming on primary producers. PNAS. I tryk. DOI:10.1073/pnas.1303797110

Arnosti, C., Jørgensen, B.B., Sagemann, J., og Thamdrup, B. 1998. Temperature dependence of microbial degradation of organic matter in marine sediments: Polysaccharide hydrolysis, oxygen consumption, and sulfate reduction. Marine Ecology Progress Series, 165: 59-70.

Baden, S., Emanuelsson, A., Pihl, L., Svensson, C.J., og berg, P. 2012. Shift in seagrass food web structure over decades is linked to overfishing. Marine Ecology Progress Series, 451: 61-73.

Baden, S., Gullström, M., Lundén, B., Pihl, L., og Rosenberg, R. 2003. Vanishing seagrass (*Zostera marina*, L.) in Swedish coastal waters. Ambio, 32: 374-377.

Boström, C., Baden, S.P., og Krause-Jensen, D. 2003. The seagrasses of Scandinavia and the Baltic sea. I Green, E.P. and Short, F.T. World Atlas of Seagrasses. University of California Press, Berkeley, USA.

Duarte, C.M., Hendriks, I.E., Moore, T.S., Olsen, Y.S., Steckbauer, A., Ramajo, L., Carstensen, J., Trotter, J.A., og McCulloch, M. 2013. Is Ocean Acidification an Open-Ocean Syndrome? Understanding Anthropogenic Impacts on Seawater pH. Estuaries and Coasts, 36: 221-236.

Eklöf, J.S., Alsterberg, C., Havenhand, J.N., Sundback, K., Wood, H.L., og Gamfeldt, L. 2012. Experimental climate change weakens the insurance effect of biodiversity. Ecology Letters, 15: 864-872.

Grech, A., Chartrand-Miller, K., Erftemeijer, P., Fonseca, M., McKenzie, L., Rasheed, M., Taylor, H., og Coles, R. 2012. A comparison of threats, vulnerabilities and management approaches in global seagrass bioregions. Environmental Research Letters, 7.

Greve, T.M., Borum, J., og Pedersen, O. 2003. Meristematic oxygen variability in eelgrass (*Zostera marina*). Limnology and Oceanography, 48: 210-216.

Greve, T.M., Krause-Jensen, D., Rasmussen, M.B., og Christensen, P.B. 2005. Means of rapid eelgrass (*Zostera marina* L.) recolonisation in former dieback areas. Aquatic Botany, 82: 143-156.

Hansen, J.W. 2012. Marine områder 2011: NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.

Hanssen-Bauer, I. 2012. Klima i det 21. århundre i sydøstlige Norge. Hav möter land, Länsstyrelsen i Västra Götalandslän.

Höffle, H., Thomsen, M.S., og Holmer, M. 2011. High mortality of *Zostera marina* under high temperature regimes but minor effects of the invasive macroalgae *Gracilaria vermiculophylla*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 92: 35-46.

IPCC 2001. IPCC Data Distribution Centre. http://www.ipcc-data.org/ddc_co2.html

IPCC 2007. Climate change 2007: Synthesis report. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

Johannesen, T., Dahl, E., Falkenhaug, T., Naustvoll, L.J. 2011. Concurrent recruitment failure in gadoids and changes in the plankton community along the Norwegian Skagerrak coast after 2002. ICES Journal of Marine Science, 69: 795,801.

Koch, M., Bowes, G., Ross, C., og Zhang, X.H. 2013. Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. Global Change Biology, 19: 103-132.

Koch, M.S. og Erskine, J.M. 2001. Sulfide as a phytotoxin to the tropical seagrass *Thalassia testudinum*: interactions with light, salinity and temperature. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 266: 81-95.

Krause-Jensen, D., Carstensen, J., Nielsen, S.L., Dalsgaard, T., Christensen, P.B., Fossing, H., og Rasmussen, M.B. 2011. Sea bottom characteristics affect depth limits of eelgrass (*Zostera marina* L.). Marine Ecology Progress Series, 425: 91-102.

Nejrup, L.B. og Pedersen, M.F. 2008. Effects of salinity and water temperature on the ecological performance of *Zostera marina*. Aquatic Botany, 88: 239-246.

Nyqvist, A., Andre, C., Gullstrom, M., Baden, S.P., og Aberg, P. 2009. Dynamics of Seagrass Meadows on the Swedish Skagerrak Coast. Ambio, 38: 85-88.

Palacios, S.L. og Zimmerman, R.C. 2007. Response of eelgrass *Zostera marina* to CO_2 enrichment: Possible impacts of climate change and potential for remediation of coastal habitats. Marine Ecology Progress Series, 344: 1-13.

Pulido, C. og Borum, J. 2010. Eelgrass (*Zostera marina*) tolerance to anoxia. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 385: 8-13.

Rasmussen, J.R., Dromph, K.M., Krause-Jensen, D., og Göke, C. 2013. Reduced cover of drifting macroalgae following nutrient reduction in Danish coastal waters. Under udarbejdelse.

Rasmussen, J.R., Olesen, B., og Krause-Jensen, D. 2012. Effects of filamentous macroalgae mats on growth and survival of eelgrass, *Zostera marina*, seedlings. Aquatic Botany, 99: 41-48.

Raun, A.L. og Borum, J. 2013. Combined impact of water column oxygen and temperature on internal oxygen status and growth of *Zostera marina* seedlings and adult shoots. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 441: 16-22.

Risinger, B. 2012. God havsmiljö 2020. Havs- och vattenmyndigheten, Göteborg.

Rogers, L.A., Stige, L.C., Olsen, E.M., Knutsen, H., Chan, K.S., og Stenseth, N.C. 2011. Climate and population density drive changes in cod body size throughout a century on the Norwegian coast. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108: 1961-1966.

Søndergaard, M., Kronvang, B., Pejrup, M., og Sand-Jensen, K. 2006. Vand og vejr om 100 år - Klimaforandringer og det danske vandmiljø. Forlaget Hovedland, Viborg.

Zimmerman, R.C., Kohrs, D.G., Steller, D.L., og Alberte, R.S. 1997. Impacts of CO_2 enrichment on productivity and light requirements of eelgrass. Plant Physiology, 115: 599-607.

Om projekt Hav möter Land

Klimat, vatten, samhällsplanering tillsammans

Hav möter Land samlar 26 organisationer i Sverige, Norge och Danmark. Vi samarbetar om klimat, vatten och samhällsplanering för Kattegat och Skagerrak.

Våra resultat är användbara för beslutsfattare, planläggare, forskare och förvaltare av naturresurser.

Klimatet förändrar våra möjligheter att bo och livnära oss här. Vi tar fram gemensam kunskap för gemensam beredskap.

I projektet arbetar kommuner, regioner, universitet och statliga myndigheter tillsammans. EU är med och finansierar projektet genom Interreg IVA.

Hjälp gärna till på www.havmoterland.se.

Partners

Länsstyrelsen i Västra Götalands län
Østfold fylkeskommune
Artdatabanken
Aust-Agder fylkeskommune
Buskerud fylkeskommune
Falkenbergs kommun
Fylkesmannen i Aust-Agder
Fylkesmannen i Buskerud
Fylkesmannen i Telemark
Fylkesmannen i Vestfold
Fylkesmannen i Østfold
Göteborgs universitet
Havs- och vattenmyndigheten
Kungsbacka kommun
Larvik kommune
Lysekils kommun
Länsstyrelsen i Hallands län
Nøtterøy kommune
Orust kommun och projekt 8 fjordar
Region Halland
SMHI
Sotenäs kommun
Telemark fylkeskommune
Vestfold fylkeskomune
Västra Götalandsregionen
Århus Universitet

Ålegræs og klimaforandringer

Denne rapport samler relevant viden om ålegræssets reaktioner på klimarelaterede parametre, og giver et bud på, hvilken betydning de forventede klimaforandringer kan få for ålegræssets udbredelse i Kattegat og Skagerrak regionen.

Generelt ventes klimaforandringerne ikke at medføre store forandringer i ålegræssets udbredelse i denne region, men der kan være betydelige lokale forskelle. Formentlig vil udsatte populationer på lavt vand gå tabt som følge af høje vandtemperaturer, opblomstringer af makroalger og øget frekvens af storme, men omvendt kan andre populationer drage nytte af en længere vækstsæson og en lettere tilgang til uorganisk kulstof i fremtiden.

Hav möter Land

Projekt Hav möter Land samlar 26 kommuner, regioner, universitet och statliga myndigheter i Sverige, Norge och Danmark. Vi samarbetar om klimat, vatten och samhällsplanering för Kattegat och Skagerrak. Våra resultat är användbara för beslutsfattare, planläggare, forskare och förvaltare av naturresurser. Klimatet förändrar våra möjligheter att bo och livnära oss här. Vi tar fram gemensam kunskap för gemensam beredskap. EU är med och finansierar projektet genom Interreg IVA.

www.havmoterland.se

Hav møter Land

EUROPEISKA UNIONEN
Europeiska regionala utvecklingsfonden

Interreg IVA
ÖRESUND – KATTEGAT – SKAGERRA