

Drivhusgasser ved Gyldensteen Strand deler vandene

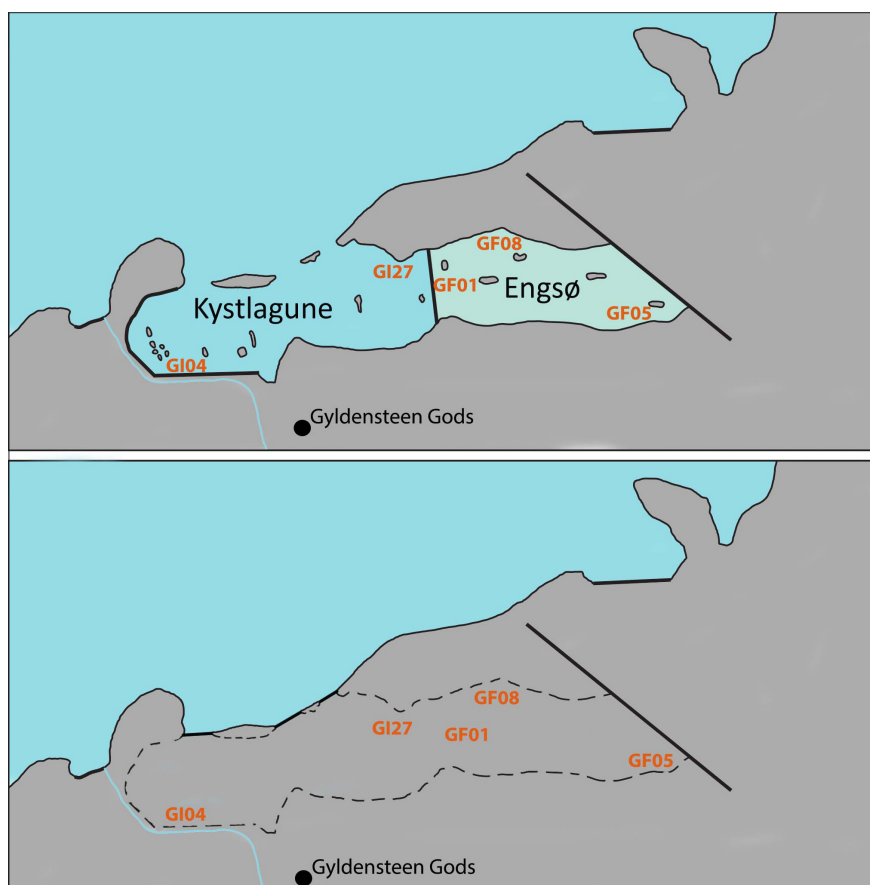
Vådområder spiller en vigtig rolle som klimavirkemidler grundet deres evne til at lagre kulstof. De genskabte marine og ferske vådområder ved Gyldensteen Strand sparer atmosfæren for tusindvis af tons CO₂ om året i forhold til før oversvømmelsen. Den ferske del af området udleder til gengæld store mængder metan (CH₄). Her redegør vi for det klimaperspektiv der følger med gendannelse af vådområder. Er det måske fremtiden at gendanne flere marine vådområder?

SUSAN GULDBERG G. PETERSEN,
ERIK KRISTENSEN &
CINTIA ORGANO QUINTANA

Baggrund

De gendannede vådområder ved Gyldensteen Strand (figur 1) har de sidste 6 år givet os vigtig viden om hvad der sker når agerland oversvømmes under kontrollerede forhold. Gyldensteen Kystlagune er det første forsøg i Danmark og det største i Europa med den kystsikringsmetode der kaldes "managed realignment" eller "uddigning". Ved "uddigning" forstås at eksisterende diger nedbrydes og kystbeskyttelsen trækkes længere ind i landet. Således dannes nye marine kystlaguner der fungerer som en bæredygtig "første skanse" mod storme og oversvømmelser.

Storskala-projektet ved Gyldensteen er udført af Aage V. Jensen Naturfond, der i 2011 opkøbte 616 ha drænet havbund på Nordfyn. En havbund der i 150 år havde været landbrugsjord ejet af Gyldensteen Gods ved Bogense. Gyldensteen Inddæmmede Strand, som området hed, blev indvundet og drænet i 1871 og har været dyrket lige siden. Dog med svingende udbytte, da området var udsat for hyppige dæmningsbrud de første mange år. For at forbedre dyrkningsforholdene blev hele inddæmningen yderligere afvandet, dybdepløjet og drænet i 1959-1962 /1/, men 50 år efter valgte Lensgreve Frants Bernstorff-Gyldensteen alligevel at sælge den marginaliserede jord. Herefter fulgte et stort arbejde med etablering



Figur 1: Kort over Gyldensteen Strand før oversvømmelse (nederst) og efter oversvømmelse (øverst) med angivelse af anlagte diger (fede linjer), de to genskabte vådområder, Kystlagunen og Engsøen, samt målestationer GI04, GI27, GF01, GF08, GF05.

af nye diger og øer før de nye marine og ferske vådområder kunne skabes. Sidst i marts 2014 brød man de ydre diger og stoppede den aktive udpumpning af drænvand fra området. Havet vendte øjeblikkeligt tilbage til den 214

ha store Kystlagune, mens regnvand gradvist fyldte den 144 ha store Engsø (figur 1).

Forskning og overvågning af Kystlagunen og Engsøen ved Gyldensteen Strand har givet helt ny viden om mulige konsekvenser af kli-

mabetingede havstigninger på inddigede områder og etablering af ferske vådområder nær kysten. Både hvad angår indvandring og succession af flora og fauna i helt nye økosystemer, næringsstofbalance og dens påvirkning af nærliggende økosystemer /2,3/ samt drivhusgasemission før og efter genskabelsen af salte og ferske vådområder (temaet i denne artikel).

Drivhusgas-emission ved Gyldensteen Strand

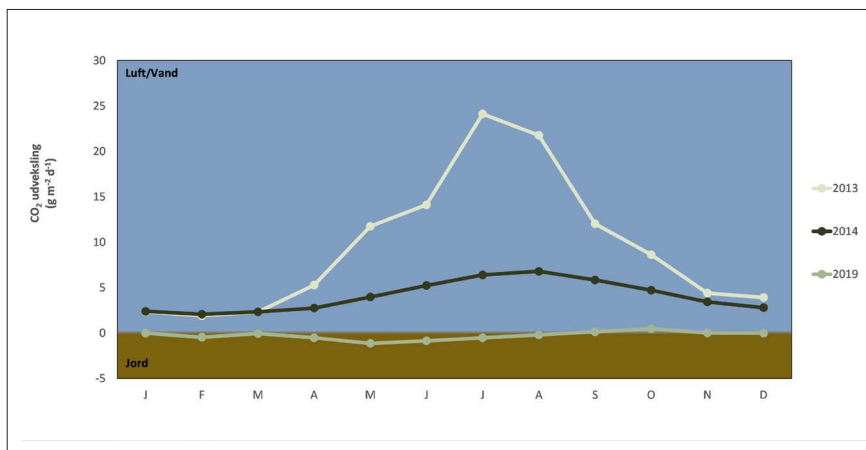
Forskel i CO₂-emission mellem dyrket mark og vådområde

Når havbund drænes og opdyrkes, øges bakteriel nedbrydning af den nye jords organiske materiale op til ti gange. Nedbrydningen i den drænedede og iltholdige jord forløber ved forbrug af ilt og frigivelse af drivhusgassen CO₂. Faktisk står landbrugsjorder på landsplan for ca. 10% af Danmarks totale udledning af CO₂ ækvivalenter /4/.

Da agerjorden ved Gyldensteen forvandles til vådområde, faldt CO₂-udledningen markant (figur 2). Før oversvømmelse var udledningen på ca. 20.400 tons CO₂ om året for hele det område, der senere blev oversvømmet (358 ha). Tager man højde for eventuelle afgrøders indbygning af CO₂ ved fotosyntese og høst var frigivelsen stadig kæmpestor – ca. 12.400 tons CO₂ pr. år. I Kystlagunen alene reduceredes nettoudledningen til fra ca. 7400 tons CO₂ til ca. 3183 tons CO₂ om året. I 2018-19 var der ikke nogen nettoudledning over året – altså CO₂ balance. I 2019 målttes endda et lille optag af CO₂ over året (figur 2). Over de sidste 3 år har Kystlagune og Engsø tilsammen enten været CO₂-neutrale eller haft et optag af CO₂. Det giver, som minimum, en årlig tilbageholdelse på ca. 12.400 tons CO₂. Denne besparelse svarer til 600 danskeres udledning.

Forskel i metan-emission mellem Kystlagune og Engsø (2019)

Engsøen er lige så effektiv til at tilbageholde



Figur 2: Netto CO₂-udvekslingen i Kystlagunen før oversvømmelse (hvid graf), lige efter oversvømmelse (mørkegrøn) og i 2019 (lysegrøn).

og optage CO₂ som Kystlagunen. Men i ferske vådområder afgives en del af kulstoffet i stedet som metan. Metan er omkring 30 gange så potent som drivhusgas end CO₂ og produceres gennem forrådnelsesprocesser i iltfrie organiske jorde og sedimenter. Det dannede metan frigives enten diffusivt (udsivning fra jorden) eller ebullitivt (som bobler).

Metan-emissionen fra Engsøen var høj, mens der intet metan kunne registreres i Kystlagunen. Den årlige diffusive metan-emission fra den 144 ha store Engsø var i 2019 på 9-16 tons. Men den virkelige overraskelse var dog boblernes effekt. Boblerne var i 2019 ansvarlige for en emission på mellem 284 og 523 tons metan. I alt havde Engsøen derfor en emission på mellem 293 og 539 tons metan om året. Dette svarer til 8.800-16.200 tons CO₂ ækvivalenter. Engsøen var altså en stor kilde til drivhusgasser i 2019. Og metanudledningen i 2019 fra søen modvirkede i høj grad den CO₂-besparelse der skabtes ved oversvømmelsen (Tabel 1).

Den lavvandede Engsø har været delvist tørlagt i somrene 2018 og 2019, som har været varme og ekstremt tørre. Temperatur og tørlægning er to vigtige parametre som kontrollerer metandannelse og -emission. De varme somre har således medvirket til en høj udled-

ning af metan, da nedbrydningen foregår hurtigere ved høje temperaturer, men varmen har også medvirket til tørlægningen af store dele af søen (figur 3). Denne tørlægning og heraf følgende iltning af de øvre jordlag bremser effektivt metan-emissionen. Metan-emissionen angivet ovenfor er derfor estimater for henholdsvis 50 og 100% vanddækning.

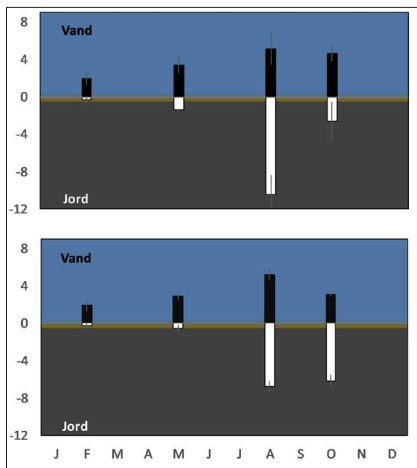
Tidslig og rumlig variation i drivhusgas-emission for Kystlagune og Engsø

Udveksling af CO₂ og metan mellem vand og atmosfære i både Kystlagune og Engsø er blevet målt hver måned og på døgnbasis i 2019. Respiration og CO₂ afgasning i den oversvømmede jordbund blev mere end opvejet af en tilsvarende tilbageholdelse af CO₂ ved en ydedygtig fotosyntese (figur 4).

Metan-emissionen i Engsøen varierede ikke over døgnet. Den største emission fandt sted i sensommeren med værdier op til 0,25 g m⁻² d⁻¹ som diffusiv udledning og 9,5 g m⁻² d⁻¹ som spontane bobler. Om vinteren foregik der kun diffusiv emission af metan, og den var begrænset til mindre end 0,01 g m⁻² d⁻¹ (figur 5). Den op til 40 gange større emission via bobler i forhold til diffusiv i sommermånederne er helt klart kontrolleret af temperaturen. Med de stigende temperaturer der følger af global opvar-



Figur 3: Luftfotos af Engsøen. To sommerscenerier fra hhv. 2015 (tv.) og 2019 (th.). 2019 var ved Gyldensteen et meget tørt år, hvilket resulterede i en 50% tørlægning af søen (Foto: Viggo Lind).



Figur 4: Kystlagunens CO₂-udledning og -optag i mørke (sort) og lys (hvid) fra stationer GI27 (øverst) og GI04 (nederst). Jorden er inddelt i en iltholdig (lysebrun) og iltfri (grå) zone.

mning, vil udledningen af metan fra Engsøen fremover blive endnu højere.

De 3 målestationer i Engsøen viste meget varierende emission af metan. Således blev der konsekvent målt højere emission ved stationer GF01 og GF05, der ligger i hver sin ende af Engsøen, sammenlignet med station GF08, der er repræsentativ for midten af Engsøen (figur 1). Analyser af jorden fra de 3 lokaliteter samt observationer fra området gav nogle foreløbige bud på hvorfor emissionen varierede så meget. Station GF01, som er et hotspot for metan-emission, ligger i den vestlige ende af Engsøen op mod diget. Under etableringen af søen skabtes fordybninger i bunden hvor materiale blev opgravet til diger og øer. Disse fordybninger blev hurtigt fyldt med organisk rigt mudder, som forårsagede en hurtig nedbrydning og dermed stor metan-emission. Der foregår også omfattende ophvirvling af fint materiale på GF01, der mudrer vandet og vanskeliggør forholdene for undervandsplanter. Mange undervandsplanter vil netop have en hæmmende effekt på metan-emissionen i deres nærmiljø, da de stabiliserer og ilter søbunden /5/. Der blev således observeret et større dække af undervandsplanter på GF08. Nogle vandplanter kan dog også fremme metan-emissionen, da deres luftholdige rødder kan have en skorstenseffekt og hurtigt transportere metan fra den iltfrie jord til luften. Eksempler på sådan en plante kunne være tagrør / 6,7/.

Kystlagune kontra Engsø

Kystlagunen og Engsøen er altså meget forskellige i deres drivhusgas-emission (tabel 1), selvom begge vådområder er etablerede på landbrugsjord, der har været behandlet ens de sidste 150 år. Men Kystlagunen er oversvømm-

Tabel 1: Netto CO₂- og metan-emission før og efter oversvømmelse i Kystlagune og Engsø i 2013 og 2019. GWP (Global Warming Potential) brugt for metan er 28.

	Før oversvømmelse 2013		Efter oversvømmelse 2019	
	Kystlagune	Engsø	Kystlagune	Engsø
CO ₂ (t år ⁻¹)	7400	5000	-488	-766
Metan diffusiv (t år ⁻¹)	~0	~0	~0	12,2
Metan bobler (t år ⁻¹)	~0	~0	~0	384,1
CO ₂ -ækvivalenter (t år ⁻¹)	7400	5000	-488	10330
CO ₂ -ækvivalenter (t år ⁻¹)	~12400		~9842	

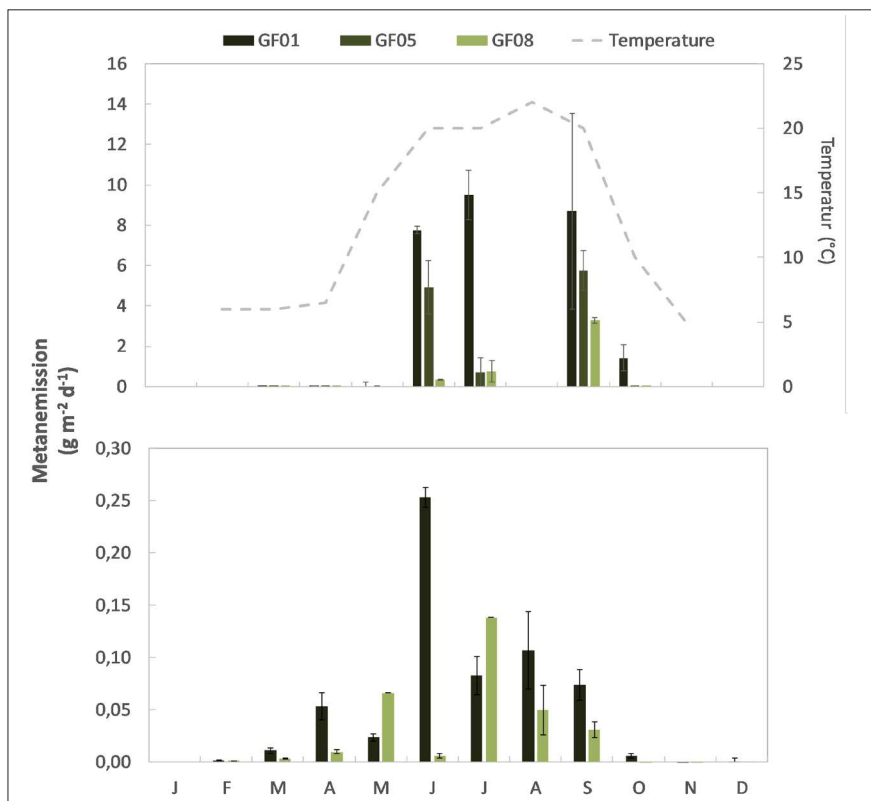
met med havvand, hvori der findes salte med meget sulfat som hæmmer metandannelsen nede i jorden. Da ferskvand ikke indeholder de samme salte, vil metandannelsen foregå stort set uhindret. Det er således biogeokemien – det vil sige de mikrobielle processer – i landbrugsjorden der omsætter det organiske stof (planterester og deslige), som i sidste ende kontrollerer hvilke og hvor mange gasser der tilbageholdes eller frigives fra jorden til vand og luft (figur 6).

Hvorfor frigiver Engsøen så meget metan?

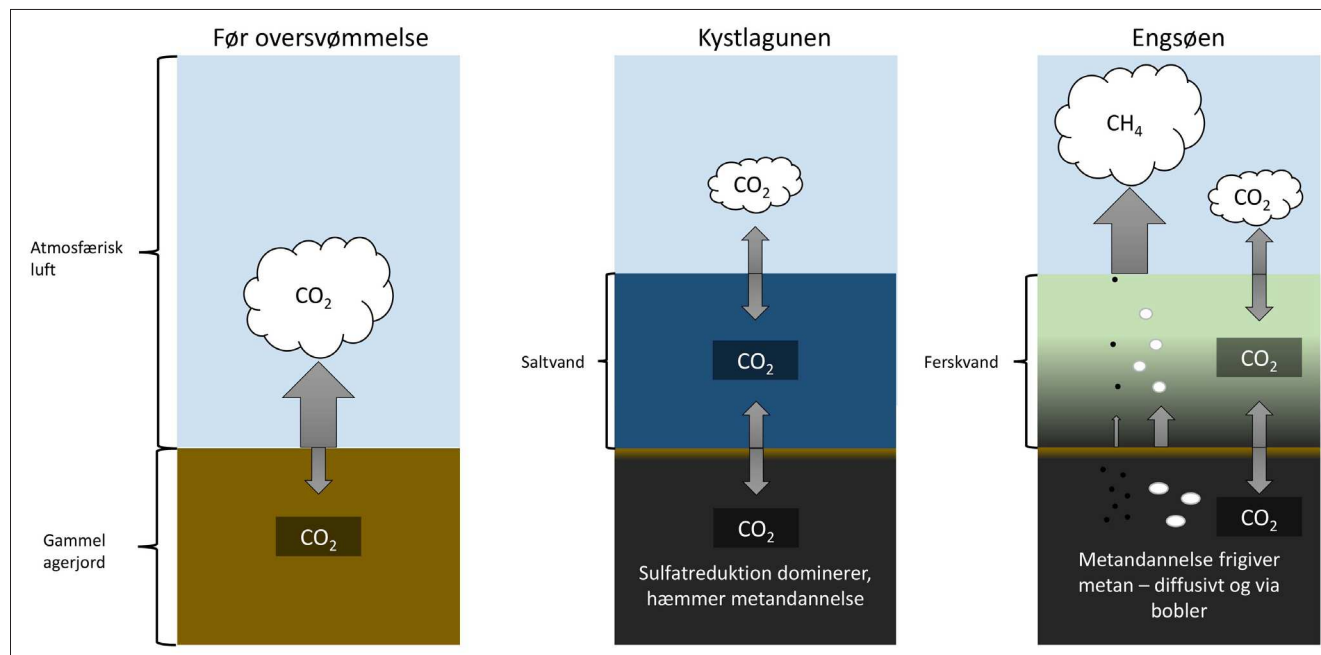
Metandannelsen i Engsøen er høj i forhold til andre søer i Danmark /8/. Det skyldes først og fremmest store mængder nedbrydeligt organisk materiale i det næringsrige vand. Engsøen har en høj intern næringsbelastning. Jorden er blevet tilført næringsstoffer fra gødning, afgrøder og kreaturer. Den

tilføres yderligere næring kontinuert fra de mange fugle der fouragerer og yngler i og omkring søen. Vi ved fra Kystlagunen at udsvivning af både kvælstof og fosfor fra den oversvømmede landbrugsjord til vandet var meget stor de første par år 3/. Udsivningen aftog med tiden, da vandet hele tiden blev fortyndet af tidevandets pulserende vandudskiftning. I Engsøen er vandmassen derimod stillestående. Det vil sige at næringsstofferne aldrig er blevet udvasket, men i stedet optaget og indlejret i forbindelse med hyppige opblomstringer af alger og vandplanter i søen. Når disse dør og bliver deponeret på bunden, vil de udgøre en stor nedbrydelig pulje af organisk materiale, som let kan nedbrydes under dannelse af metan.

Mange undersøgelser af metan-emission i vådområder medtager ikke metan-boblernes bidrag. Ifølge vores målinger er boblernes bi-



Figur 5: Øverst: Ebulitiv metan-emission i Engsøen i 2019 på station GF01 (sort), GF05 (mørkegrøn) samt GF08 (lysegrøn). Angivet er også vandtemperatur (grå, stiple). Nederst: Diffusiv metan-emission i Engsøen i 2019 på station GF01 og GF08.



Figur 6: Illustration af frigivelse af CO₂ og CH₄ fra Gyldensteen før og efter oversvømmelse i Kystlagune og Engssø. Jordens farve i illustrationen henviser til iltningegrad. Lysebrun jord er iltet og mørkegrå jord er iltfri.

drag omkring 30 gange højere end den diffusive metan-emission i Engssøen. Det er derfor vigtigt at inkludere boblernes rolle i ferskvandssøers og andre vådområders drivhusgasregnskab. Desuden er metan-emissionen fra lavvandede søer, som Engssøen, ofte større end fra dybere søer. Jo dybere sø jo mere metan nedbrydes i vandet inden det frigives til atmosfæren.

Vådområder som (klima)virkemiddel

Regeringen har i 2020 afsat 2 milliarder kroner til at udtage landbrugsjord og gendanne det til vådområder. Ideen er, at vanddækningen skal standse frigivelsen af CO₂ ved at hæmme nedbrydningsprocesser i kulstofrige lavbundsjorde og derved indgå i planerne om et CO₂-neutralt Danmark. Men ferskvandsvådområder er ikke nødvendigvis klimavenlige. Her er Engssøen ved Gyldensteen et godt eksempel, hvor oplagringen af kulstof undermineres af en øget dannelse af metan. Ferskvandsvådområder er på verdensplan store naturlige bidragsydere til metan i atmosfæren med emissioner på 164 Tg (Teragram 10¹² gram) pr. år. Det svarer omtrent til 1/3 af den totale globale emission af metan/9/.

Ferskvandsvådområder og -søer genetableres mange steder i Danmark af andre grunde end klima. De fungerer f.eks. som næringsstoffiltre, virkemidler mod oversvømmelse samt habitater for vandfugle. Men det er nødvendigt at etablere disse vådområder med omtanke, så vi ikke tilbageholder kvælstof på bekostning af klimaet. Et vådområde skal være multifunktionelt og klimakonsekvenserne ved etablering af ferske vådområder bør overvejes

grundigt og tiltag til at mindske metan-emission foretages. Vi opfordrer til at lave marine vådområder, hvor det er muligt. I Danmark er der ca. 45.000 ha drænet landbrugsjord /10/, der engang var havbund. Hvis man, som et tankeeksperiment, lod denne jord oversvømme med havvand og man antog en besparelse i CO₂ udledning som ved Gyldensteen Kystlagune, så ville Danmark spare ca. 2,5 mio tons CO₂.

Klimaindsatsen i Danmark bliver en mosaik af tiltag, der tilsammen skal reducere vores udledning af drivhusgasser med 70% inden 2030. Genskabelse af især marine vådområder er et effektivt, tilgængeligt og realiserbart klimavirkemiddel, som bør indgå i den fremtidige strategi. Gyldensteen Kystlagune kan agere rollemodel for mange områder i Danmark og resten af verden. Det drejer sig især om marginaliserede, drænedede kystnære marker, der ikke er økonomisk rentable at oprettholde længere. "Managed realignment" er et klimavirkemiddel vi her i landet bør tage i brug ved vores kyster, så vi får en win-win-win situation, hvor oversvømmelse med havvand både giver kystbeskyttelse, drivhusgasbesparelse og naturgenopretning med stor rekreativ værdi.

Kildeliste

- 1: Hansen, K. (2014). Folk og Fortællinger fra det Tabte Land, Bind 2: Øeme. Forlaget Bæredygtighed.
- 2: Kristensen, E., Flindt M., Thorsen S., Holmer, M. & Valdemarsen, T. (2016): Gyldensteen Strand – fra agerland til kystlagune. Vand og Jord, 23. årgang nr. 1, s. 36-40.
- 3: Kristensen, E., Valdemarsen, T., Holmer, M., Quintana,

C. O & Flindt M. (2018): N og P udveksling ved Gyldensteen Strand. Vand og Jord, 25. årgang nr. 3, s. 119-122.

- 4: Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Hjelgaard, K., Nielsen, M., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R., Gyldenkerne, S. & Thomsen, M. (2019): Projection of greenhouse gases 2018-2040. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 125 pp. Scientific Report No. 345
 - 5: Davidson T. A., Audet J., Jeppesen E., Landkildehus F., Lauridsen T. L., Søndergaard M & Syväranta J. (2018). Synergy between nutrients and warming enhances methane ebullition from experimental lakes. Nature Clim Change 8, s. 156–160.
 - 6: Purvaja, R., Ramesh, R. and Frenzel, P. (2004), Plant-mediated methane emission from an Indian mangrove. Global Change Biology, 10: 1825-1834.
 - 7: Herbst, M., Ringgaard R., Schelde K. (2011). Skjern Enge som Rollemodel. Aktuell naturvidenskab nr. 3.
 - 8: Audet J., Johansen J. R., Andersen P. M., Baattrup-Pedersen A., Brask-Jensen K. M., Elsgaard L., Kjaergaard C., Larsen S. E., Hoffmann C. C. (2013): Methane emissions in Danish riparian wetlands: Ecosystem comparison and pursuit of vegetation indexes as predictive tools, Ecological Indicators, volumen 34, s. 548-5599
 - 9: Bridgham, S.D., Cadillo-Quiroz, H., Keller, J.K. and Zhuang, Q. (2013): Methane emissions from wetlands: biogeochemical, microbial, and modeling perspectives from local to global scales. Glob Change Biol, 19: 1325-1346.
 - 10: Stenak, M. (2005): De inddæmmede landskaber – en historisk geografi. Landbohøjskoleforlaget.
- SUSAN GULDBERG GRAUNGÅRD PETERSEN (susanp@biology.sdu.dk) er ph.d., ERIK KRISTENSEN er professor og CINTIA O. QUINTANA er adjunkt. Alle ved Biologisk Institut, Syddansk