

KYSTZONEN SOM FILTER FOR NÆRINGSSTOFFER

Forfatterne



Jacob Carstensen er professor på Institut for Bioscience ved Aarhus Universitet, hvor han forsker i menneskets påvirkning af marine økosystemer.
jac@bios.au.dk



Mikkel Fruergaard er tenure-track adjunkt på Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet, hvor han forsker i kystzonens udvikling i løbet af de sidste 10.000 år.
mif@ign.ku.dk



Janus Larsen er fysisk oceanograf og udvikler numeriske modeller til beskrivelse af havstrømme, næringsstofomsætning og bevægelse af partikler i vandet.
janus@bios.au.dk



Jesper Philip Aagaard Christensen er uddannet biolog indenfor akvatiske økosystemer og arbejder med modellering af eutrofiering i danske kystvande.
Email: jc@bios.au.dk

Kystområder med tæt vegetation i vandkanten, udstrakte ålegræsenge og store muslingebestande fjerner en stor mængde af de næringsstoffer, som udledes fra marker via vandløb. Derfor er disse kystnære habitater vigtige at bevare.

Hvert år udledes omkring 60.000 tons kvælstof (N) og 2.500 tons fosfor (P) fra land til det danske havmiljø. Størstedelen af disse udledninger kommer fra landbruget. Udledningen af næringsstoffer medfører en forringet økologisk tilstand i havmiljøet, som giver sig til udtryk i form af algeopblomstringer, tab af ålegræsenge og udbredt iltvind. Men havmiljøet har også en naturlig evne til at fjerne disse næringsstoffer, og en stor del af næringsstofferne foruden organisk materiale bliver omsat og fjernet i de kystnære områder, tæt på kilderne. Faktisk fungerer kystzonen som et renseanlæg for næringsstoffer og organisk materiale, men det er uvist, hvor store mængder der fjernes, og hvor denne fjernelse hovedsageligt foregår. Dette har vi undersøgt i pro-

jektet *Kystzonen som renseanlæg*, støttet af VELUX fondene.

I modsætning til de fleste andre lande har Danmark ingen store floder, så udledningen af næringsstoffer fra land sker hovedsageligt via mindre vandløb med arealmæssige små nedbørsoplande. Det betyder også, at der er kort vej fra tab af næringsstoffer på marken til havet. Omkring 70 % af oplandsafstrømningen udledes til fjorde og bugter, hvor vandets opholdstid er relativ lang (typisk flere måneder). Inden det afstrømmende vand når havet, passerer det igennem kystzonen, som derfor potentielt udgør et vigtigt filter for næringsstofferne fra land. De vigtigste processer til fjernelse af næringsstoffer i kystzonen er sedimentation (både N og P) og denitrifikation (kun N).

Men kystzonen er også et økosystem med stor diversitet af planter og dyr, som bidrager til at fjerne næringsstoffer. Muslinger og ålegræs i de lavvandede områder tæt på åudløbet øger filtrationen og sedimentationen af partikler. Endvidere kan tilstedeværelsen af ålegræs og bunddyr stimulere fjernelsen af kvælstof ved denitrifikation. Vi forventer derfor, at tilstedeværelsen af planter og dyr resulterer i en mere effektiv filterfunktion, men det er uvist, hvor stor betydningen er.

For at undersøge filterfunktionen har vi indsamlet data fra to forskellige åudløb – Hove Å i Roskilde Fjord og Nivå i Øresund. Desuden har vi ved hjælp af numeriske modeller bestemt filterfunktionen og undersøgt betydningen af rørskov, ålegræs og muslinger for området omkring Hove Å.



Foto: Lumi Haraguchi

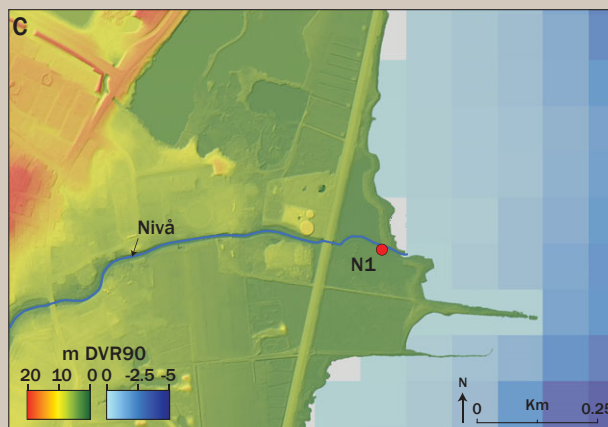
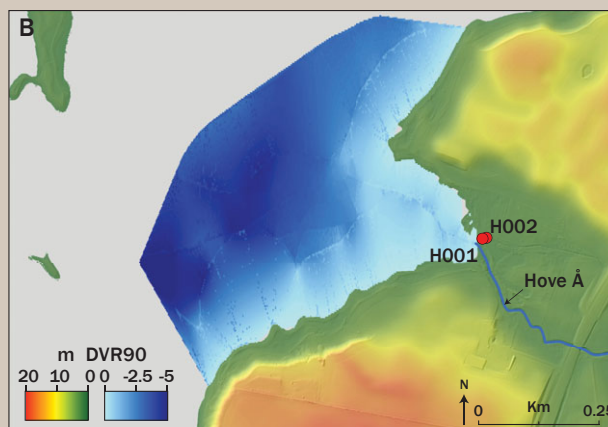
↑ Udtagning af sedimentkerner til bestemmelse af aflejring af næringsstoffer og organisk materiale.

← Indsamling af data fra flydende platform med diverse sensorer trukket efter en havkajak.

Kortene viser de to undersøgelsesområder ved Hove Å's udløb i Roskilde Fjord og Nivås udløb i Øresund.

Indsamlingen af vandprøver foregik fra kajak og ved hjælp af sensorer på en flydende platform, som blev trukket efter kajakken. Der blev målt salinitet, ilt, temperatur, klorofyl og algesammensætning med sensorerne, mens vandprøverne blev analyseret for næringsstoffer og organisk stof. For at undersøge årstidsvariationer i filterfunktionen blev data indsamlet i Hove Å i juni, august og december 2018 samt januar og marts 2019 og i Nivå i august 2018 og marts 2019.

For at belyse ændringer i kystzonens filterfunktion gennem flere årtier indsamlede vi sedimentkerner fra den terrestriske del af kystzonen i nærheden af åudmunningen. I alt blev der boret tre kerner fra de to lokaliteter (figur B og C), hvor et plastrør blev hamret ned i jorden og efterfølgende gravet op. Det uforstyrrede sediment i kernerne er i laboratoriet beskrevet sedimentologisk og analyseret for organisk indhold samt fosfor og kvælstof. Desuden er sedimentet i kernerne blevet dateret med ^{210}Pb og ^{137}Cs , så den tidlige udvikling i sedimentakkumuleringen og næringsstoffer kunne bestemmes.



Undersøgelser i Hove Å og Nivå

Det var forventet ved projektets start, at de valgte undersøgelsesområder havde forskellig filterfunktion på grund af forskel i bølgeeksponering samt strømforhold omkring de to udløb. Hove Å's udløb er relativt beskyttet for bølger med en lille vandgennemstrømning, og vandets opholdstid er relativ lang, hvorfor det er forventet, at

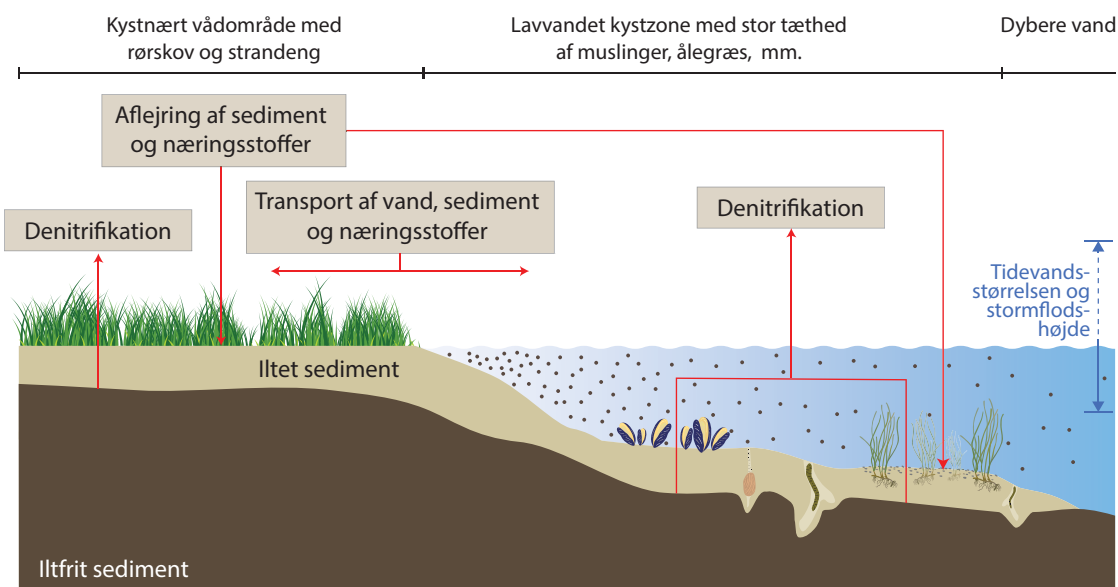
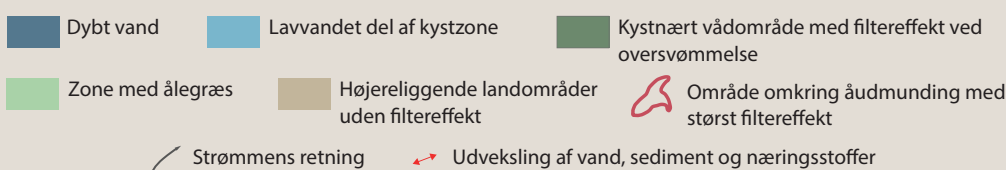
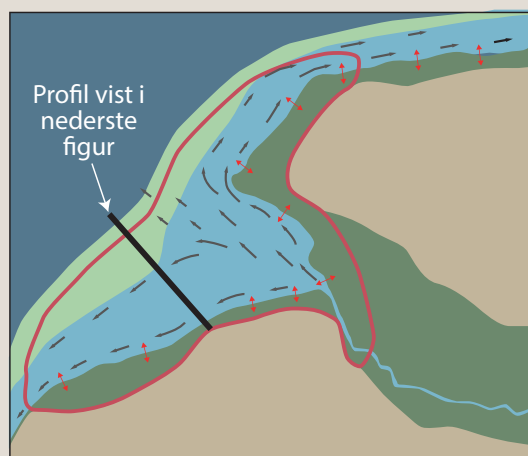
kystzonens filterfunktion er høj. I modsætning er Nivås udløb relativt bølgeeksponeret og vandets opholdstid omkring åudløbet relativ kort, hvorfor kystzonens filterfunktion forventelig er lav.

Hove Å udspringer vest for København og løber cirka 20 km mod vest, hvor den efter passage af Gundsømagle Sø løber ud i Roskil-

de Fjord i en lavvandet beskyttet vig med spredt dækning af vandplanter primært i form af Almindelig havgræs (*Ruppia maritima*) afløst af Ålegræs (*Zostera marina*) fra omkring to meters dybde. Åen afvander et opland på ca. 70 km² og har en middelvandføring på 260 l/s. Den modtager overvejende vand fra det åbne land og kun en begrænset mængde spildevand.

Kystzonens filtereffekt

Store mængder af næringsstoffer til havmiljøet kommer fra små spredte vandløb. Omkring vandløbets udløb fjernes næringsstofferne hovedsageligt i omkringliggende vådområder og havbundens sedimenter. Kystzonen fungerer derfor som et filter for næringsstoffer fra land og reducerer tilførslen til de sårbare åbne farvande. Filtereffekten er større, når der er udbredte forekomster af vådområder, ålegræs og muslinger i kystzonen. De vigtigste processer til fjernelse af næringsstoffer er aflejring i vådområder og ålegræsenge og denitrifikation. Et bælte af ålegræs langs kysten øger vandets opholdstid og reducerer transporten af næringsstoffer til de dybere områder.



Nivå består af to, næsten lige store vandssystemer – Nivå og Usserød Å. Nivå løber fra vest mod øst og små to kilometer inden udløbet, flyder den sammen med Usserød Å, som kommer sydfra og har udspring i Sjælsø. Åen løber ud i Øresund i Nivå bugt, som er en lavvandet bugt med sandbund og ringe dækning af vandplanter. Nivå afvander et opland på 140 km² og har en middelvandføring på ca. 1000 l/s. Der ligger en del renseanlæg i oplandet, som udleder rensset spildevand til åen, blandt andet Nivå renseanlæg, som udleder spildevand til åen umiddelbart inden udløbet i Nivå Bugt. Begge vandløb

har været udsat for regulering af forløb igennem tiden.

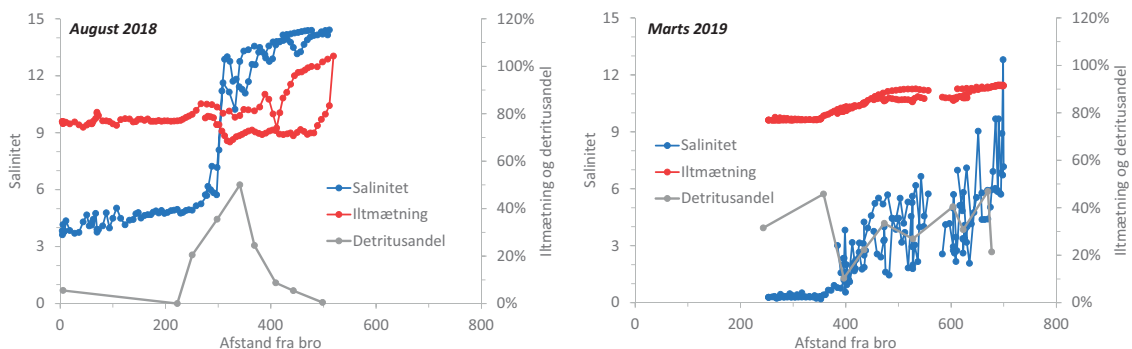
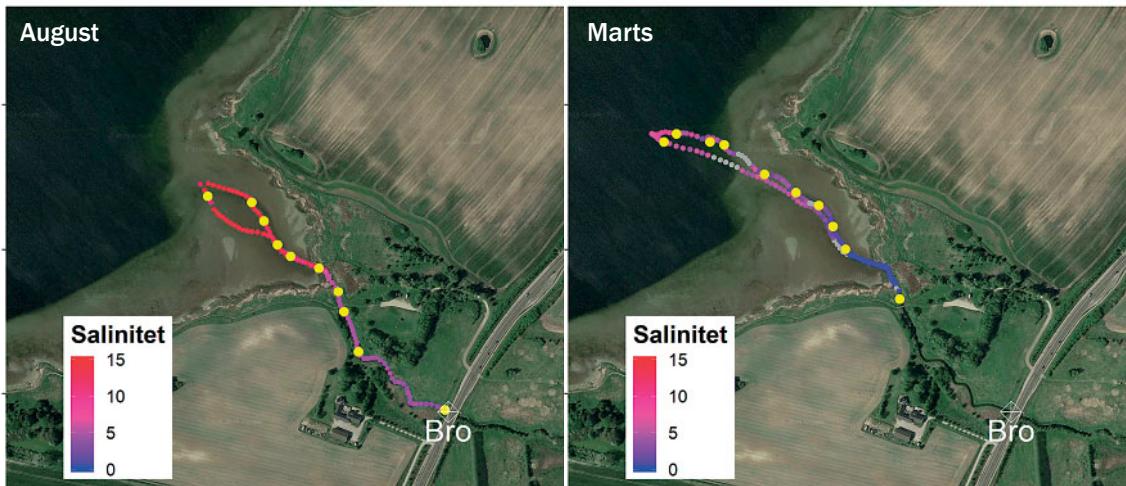
Til at belyse kystzonens filterfunktion blev data indsamlet fra både den marine og terrestriske del af kystzonen. Vi samlede data ind fra de to åers overgangszone, hvor åvandet møder det salte havvand.

Store ændringer i et lille område

Vores data fra projektet bekræfter flere af vores hypoteser. De viser primært, at der sker store fysiske, kemiske og biologiske ændringer i overgangszonen fra ferskvand til

saltvand. Udstrømningen fra vandløbet bremses op, når det møder havvandet, her sker der en udfældning og aflejring af alle de større organiske partikler, som vandløbet fører med sig – særligt i situationer med kraftig ferskvandsafstrømning.

Filterfunktionen i Nivå er som forventet lille, og ændringerne i indholdet af næringsstoffer og organisk materiale er hovedsageligt styret af de fysiske processer. Dette kunne ses selv i den tørre sommerperiode, hvor rensset spildevand med høje nitratkoncentrationer udgør en stor del af vandføringen, som ikke nå-



Gradienter for salinitet, iltmætning og andelen af detritus (rester af døde dyr, planter og mikroorganismer) for partikler ved udløbet af Hove Å i august 2018 og marts 2019. I august med lav ferskvandstilførsel ændrer saliniteten sig markant, hvor åudløbet udvider sig, og der dannes en masse detritus af ferskvandsalger i denne overgangszone. I marts ændrer saliniteten sig gradvist, og stor afstrømning hvirvler en relativ stor mængde detritus op fra sedimentet.

de at blive omsat i kystzonen.

I Hove Å kunne vi derimod observere store ændringer over kort tid og korte afstande. Overgangszonen mellem ferskvand og saltvand kan indenfor timer flytte sig fra oppe i vandløbet til flere hundrede meter ud i fjorden – afhængigt af vandføring og vandstand i fjorden. Der kan også være stor forskel i mængden af næringsstoffer og organisk materiale indenfor få meter og korte tidsrum, hvilket vi observerede som forskellige gradienter ved ind- og udsejling fra åudløbet i forhold til salinitet.

Algesamfundet ændrede sig meget markant over korte afstande (100 til 200 m). Vandet fra Hove Å var domineret af ferskvandsalger, mens de marine alger blev mere almindelige, når vi bevægede os ud i fjorden og saliniteten steg. Overgangen mellem de to algesamfund foregik i selve åen i sommerperioden og ude i fjorden i forårsperioden.

Samtidig var der i sommerperioden i overgangszonen en større mængde detritus (døde celler), hvilket indikerer, at ferskvandsalgerne dør, når saliniteten bliver for høj. Denne pulje af dødt organisk materiale medfører ligeledes et iltforbrug, hvilket kan ses ved en undermætning af ilt ved disse saliniteter. Den store mængde af ferskvandsalger i Hove Å stammer formentlig fra Gundsømagle Sø, som ligger cirka 3 km opstrøms åudløbet.

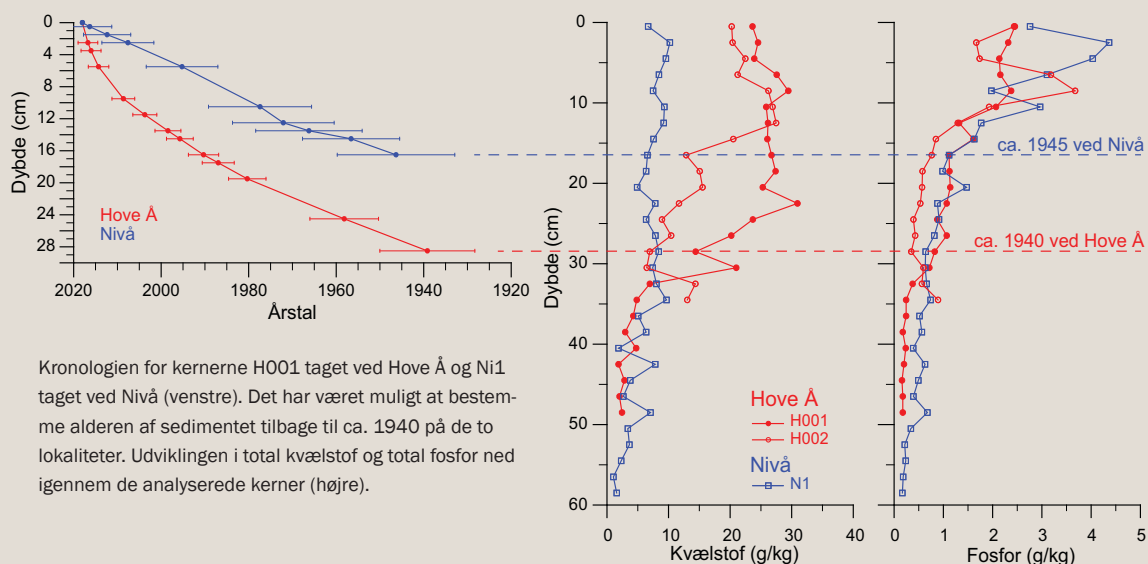
Fjernelse i havbund, rørskov og strandeng

Nettoaflejringen af partikelbundet kvælstof og fosfor i havbunden og i den terrestriske del af kystzonen afhænger af mængden af finkornet sediment (ler, silt og organisk materiale) der aflejres, af indholdet af kvælstof og fosfor i det aflejrede sediment samt størrelsen af det organiske materiales nedbrydning og frigivelsen af næringsstofferne efter aflejring.

Sedimentkernerne fra Hove Å og Nivå indikerer, at der kun ganske lokalt aflejres betydelige mængder finkornet sediment, primært i rørskov og lavtliggende strandeng. Indholdet af kvælstof og fosfor i det begravede sediment er imidlertid betydelig, men da det samlede areal af områderne er lille er den totale mængde tilbageholdt kvælstof og fosfor begrænset.

Nettosedimentation af finkornet sediment på selve havbunden i kystzonen er de fleste steder ganske lille, da bunden er domineret af sandede sedimenter. Det skyldes, at det finkornede sediment bliver hvirvlet op af bølger og strøm i perioder med kraftig vind og aflejres i dybere områder.

Det er således mest sandsynligt, at de partikulære næringsstoffer, der tilføres de undersøgte kystzoner via vandløb og anden overfladeafstrømning, enten fanges i strandeng og



Kronologien for kernerne H001 taget ved Hove Å og Ni1 taget ved Nivå (venstre). Det har været muligt at bestemme alderen af sedimentet tilbage til ca. 1940 på de to lokaliteter. Udviklingen i total kvælstof og total fosfor ned igennem de analyserede kerner (højre).

Lokalitet	Akkumulations-rate Kg/m ² /år	Kvælstof-indhold g/kg	Fosfor-indhold g/kg	Kvælstof-aflejring g/m ² /år	Fosfor-aflejring g/m ² /år
Hove Å	1,04	16,7	1,2	17,4	1,2
Nivå	1,26	6,3	1,2	7,9	1,5

Aflejring af sediment, kvælstof og fosfor i den terrestriske del af kystzonen ved Hove Å og Nivå.

rørskov, eller eksporteres videre ud på dybere vand, hvor det kan aflejres i ålegræsbede og biogene rev eller dybe stillestående områder.

Den opløste fraktion af næringsstoffer findes enten som en uorganisk form eller som organisk opløst stof. Den uorganiske form kan optages direkte af planteplankton, makroalger og ålegræs, mens den organiske form kan optages af bakterier, som udgør føde for eksempelvis dyreplankton. Uorganisk fosfor kan også fælde ud med jern, calcium eller andre kationer og dermed aflejres i sedimentet, men langt det meste fosfor findes allerede på partikelform eller i den organiske fraktion, når det kommer fra et vandløb. Den opløste fraktion af næringsstoffer kan således blive omdannet til partikelform og aflejres i den terrestriske del af det å-nære kystmiljø, hvis forholdene er optimale.

Den uorganiske del af kvælstofet kan også omdannes direkte til atmosfærisk kvælstof og dermed fjernes permanent fra systemet. Dette sker ved denitrifikation af nitrat, som sker effektivt i den del

af kystzonen, som veksler mellem at være tørlagt og oversvømmet, og som også har et højt indhold af organisk materiale.

Bestemmelse af filterfunktionen

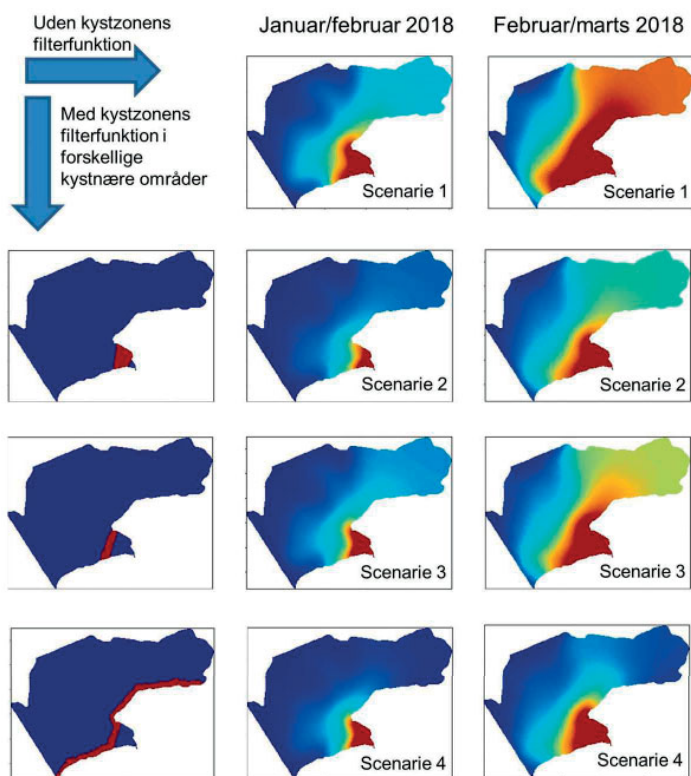
Vi har vurderet filterfunktionen omkring udløbet af Hove Å ved at introducere et kystzonefilter af forskellig udstrækning i en hydrodynamisk model med en filterkoefficient fastsat ud fra litteraturen. Derefter har vi undersøgt spredningen af en passiv tracer, som repræsenterer tilførslen af uorganiske næringsstoffer fra Hove Å, efter 30 dage.

Vi kørte modellen under to forskellige vejrmæssige situationer: 1) kraftig vind (januar/februar 2018) og svag vind (februar/marts 2018). Ved kraftig vind er vandtransporten i Roskilde Fjord stor, og de uorganiske næringsstoffer fra Hove Å fortyndes hurtigt. Derfor er effekten af kystfilteret ganske lille. Med den svagere vind øges opholdstiden og kystfilteret er mere effektivt, hvilket ses ved en større forskel mellem de fire scenarier. Kystzonens filtereffekt var størst, når filteret blev

placeret over en længere strækning langs kysten, i forhold til et kystfilter lige omkring udløbet af Hove Å.

Forvaltning af kystzonen

Vores resultater dokumenterer, at kystzonen omkring ferskvandskilderne bidrager med en væsentlig fjernelse af næringsstoffer fra land. Derfor er det vigtigt at fokusere på, hvordan netop disse lokaliteter forvaltes, så vi kan fjerne næringsstofferne tæt på kilderne, hvor filtereffekten er stor. Der sker en stor aflejring af organisk materiale og næringsstoffer i områder med rørskov og lavtliggende strandenge, men hvis dette område kun udgør et mindre areal, så vil filtereffekten være minimal. Derfor er det vigtigt at bevare disse bæltter langs kysten – og reetablere dem, hvor de er blevet fjernet – så partikler kan aflejres og næringsstoffer blive fjernet. Ligeledes er forekomsten af ålegræs og muslinger i området omkring åudløbet vigtige for fjernelsen af næringsstoffer. Derfor bør fysiske forstyrrelser, som ødelægger disse vigtige habitater, undgås. Filtereffekten af rørskov og lavtliggende strandenge såvel som ålegræs og muslinger begrænser sig



Udover forfatterne har følgende personer deltaget i projektet fra Aarhus Universitet: Lumi Haraguchi, Christian Mohn, Nikolaj Reducha Andersen, og fra Københavns Universitet: Thorbjørn Joest Andersen, Kristoffer Hofer Skinnebach.

Spredningen af et fiktivt næringsstof fra udløbet af Hove Å efter 30 dage modelleret for to perioder og fire forskellige scenarier: 1) ingen filterfunktion, 2) filterfunktion tæt på udløbet, 3) filterfunktion i et område længere væk fra udløbet og 4) filterfunktion i et område langs kysten. Den tredimensionelle hydrodynamiske model FlexSem er drevet af ferskvandsafstrømningsdata fra Hove Å (NOVANA), atmosfæriske data fra en nærliggende vejrstation samt strøm og vandstandsdata fra EU Copernicus data portal.



ikke kun til området omkring åudløbet, men inkluderer også kyststrækninger længere væk. Derfor er det vigtigt at udarbejde forvaltningsplaner for en større inkluderende kystzone omkring ferskvandskilderne.

Disse vigtige habitater kan imidlertid blive truet med det stigende havniveau, som potentielt kan reducere deres areal, hvis ikke rørskov og strandenge får lov til at sprede sig længere ind i landet på grund af

eksisterende landbrug eller bebyggelse. Hvis vi skal bevare et effektivt kystfilter i fremtiden, kan det blive nødvendigt at afsætte landarealer til disse habitater for at imødegå disse effekter af klimaforandringer. ■

Science på RUC

Naturvidenskab i virkeligheden

Interesserer du dig for Matematisk Modellering?

Nye uddannelser på Roskilde Universitet:

- **Mathematical Computer Modelling**
- **Mathematical Physical Modelling**
- **Mathematical Biosciences**