



Geodiversitet

Potentiale for kvantificering og national kortlægning

Ernstsen, Verner Brandbyge; Al-Hamdani, Zyad K.; Andersen, Mikkel Skovgaard; Hansen, Lars Øbro; Tenberge, Yvonne S.; Kroon, Aart

Published in:
Geoviden

Publication date:
2017

Document version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Citation for published version (APA):

Ernstsen, V. B., Al-Hamdani, Z. K., Andersen, M. S., Hansen, L. Ø., Tenberge, Y. S., & Kroon, A. (2017). Geodiversitet: Potentiale for kvantificering og national kortlægning. *Geoviden*, 2017(1), 14-18.

2017

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 01

- 
- **INDLANDSISEN OG HEDEBØLGER**
 - **SENESTE SKRED PÅ STEVNS KLINT**
 - **GENETABLERING AF STENREV I GILLELEJE**
 - **GEODIVERSITET**

INDLANDSISEN OG HEDEBØLGER

Det er ikke noget særsyn, at hedebølger hvert år berører små områder af Indlandsisen i Grønland. Det er et fænomen, vi observerer i stigende grad både i hyppighed og intensitet. I sommeren 2012 oplevede størstedelen af Indlandsisen dog en sjældent vidtrækkende og intens hedebølgetilstand. Denne hændelse ændrede vores forståelse af, hvordan iskjoldet rent faktisk reagerer med atmosfæren under sådanne hedebølger.

Indlandsisen er det største iskjold på den nordlige halvkugle. I disse år undergår Indlandsisen store forandringer i omfang og udbredelse som følge af ændrede klimaforhold. Siden satellitmålinger af massetabet begyndte i 2003, har Indlandsisen gennemsnitligt mistet omtrent 250 gigaton årligt frem til nu. Det svarer til en global havniveaustigning på ca. 0,7 mm pr. år. Eller til 100 liter vand hver dag hele året rundt for hver af klodens syv milliarder mennesker.

Siden afslutningen af 'den lille istid' sidst i det nittende århundrede er lufttemperaturen i Arktis steget, og det seneste årti har været det varmeste i Grønland siden varmeperioden i 1930'erne og 1940'erne. Temperaturene er fortsat med at stige, og Indlandsisens overflade smelter hastigt, da iskjoldet er ude af balance med nutidens klimaforhold. Indlandsisen kan dermed være på vej til at blive en væsentlig bidrager til stigningen i havniveau.

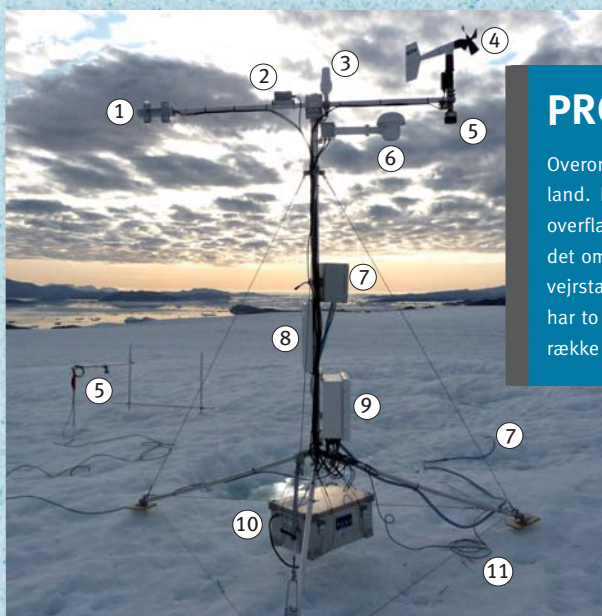
Det er normalt energi fra sollyset, der er den største bidrager til smeltning af Indlandsisen, men i sommeren 2012 oplevede Grønlands vestkyst flere gange hedebølgetilstande, der vendte op og ned på den normale afsmeltning. Hedebølgerne skyldtes et højtrykssystem ud for Grønlands østkyst samt et lavtrykssystem ved vestkysten. Disse vejrsystemer blæste varm og fugtig luft fra sydvest op langs kysten og ind over iskjoldet, og pludselig var afsmeltningen styret af denne varme og fugtighed.

Disse hedebølger betød, at vi i 2012 oplevede, at stort set hele overfladen på Indlandsisen nåede smeltepunktet i en kort periode. Satellitobservationer viste, at smeltningen opstod på tværs af næsten hele Indlandsisens overflade den 12. juli 2012. Denne smelteepisode (8.–11. juli) var helt ekstraordinær og uden fortilfælde i den periode, vi har haft overvågning fra satellitter. En anden stor smelte-

episode fandt sted den 27.–28. juli, og denne dækkede hele Vestgrønland, se s. 4.

Hvordan observerer man afsmeltningen?

Det er vanskeligt at indsamle information om Indlandsisens tilstand. Det barske klima, det ufremkommelige terræn, de logistiske udfordringer og Indlandsisens enorme størrelse gør, at forskerne i stadig højere grad bruger satellitmålinger og modelberegninger til at beskrive og analysere Indlandsisens overflademassebalance som helhed. Og særligt i randzonen af Indlandsisen, som netop er dér, hvor store rumlige forskelle i overfladens massebalance kan forekomme, er det vanskeligt at få pålidelige data om ændringer i afsmeltning af is eller lokale smeltmønstre – også selv om der benyttes de mest fintmaskede klimamodeller og tyngdemålinger fra satellit.



PROMICE vejrstationer

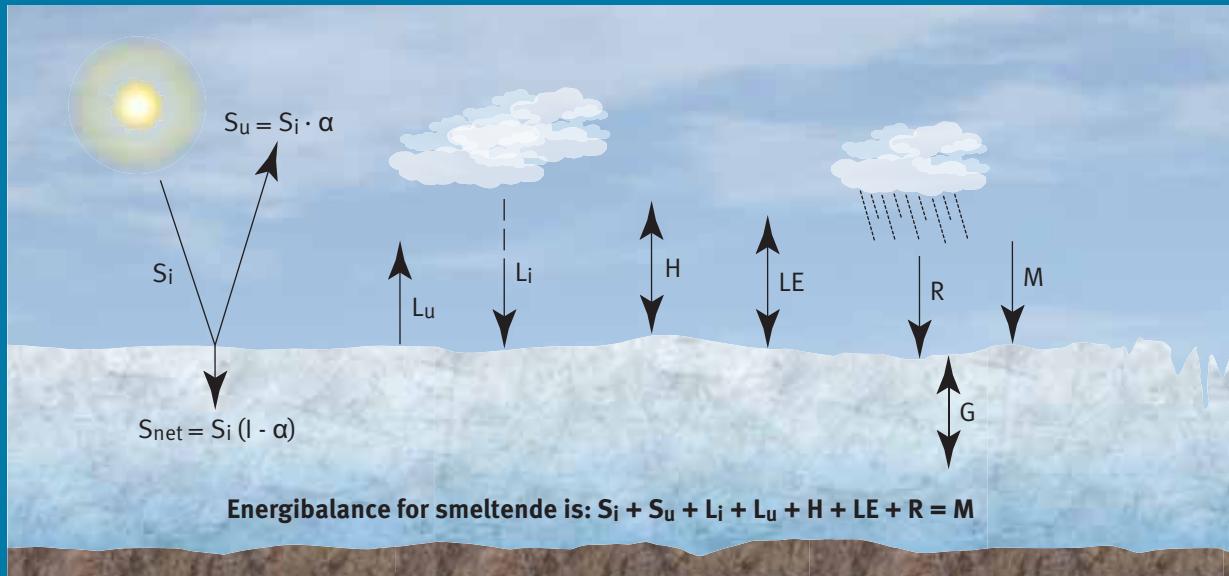
Overordnet set har PROMICE til formål at bestemme massetabet fra Indlandsisen i Grønland. Det betyder, at vi skal bestemme ændringerne i Indlandsisens arealmæssige overfladeafsmeltning samt mængden af isbjerge, der kælvnes og søsættes fra gletsjere til det omkringliggende hav. Overfladesmeltingen bestemmes ved hjælp af automatiske vejrstationer, der er placeret i otte forskellige regioner på Indlandsisens rand. Hver region har to eller tre vejrstationer i forskellige højder på isen. Vejrstationerne måler en lang række forskellige parametre – de er angivet i teksten ved figuren.

Dette er en typisk 'automatisk' vejrstation fra PROMICE. Tallene på figuren viser de forskellige instrumenter og deres funktion: 1. Ind- og udgående kortbølget og langbølget stråling. 2. Stationens hældning. 3. Iridium-antenne til satellittransmission af målinger. 4. Vindhastighed og -retning. 5. Højdeændringer fra snefald og smeltning af sne og is. 6. Lufttemperatur og fugtighed. 7. Ismelting. 8. Solpanel til at oplade batterier. 9. Loggerboks (med indbygget barometer) der indsamler målinger. 10. Batterier. 11. Istemperaturer i syv forskellige niveauer ned til 10 meters dybde.

Overfladens energi- og massebalance

Solen er den ultimative kilde til energi her på Jorden. Jordens overflade modtager ikke den samme mængde energi som toppen af atmosfæren, fordi en del bliver kastet tilbage eller absorberet af gasser og skyer i atmosfæren. Udover dette bliver noget af sollyset reflekteret, når det rammer Jordens overflade. Mængden, der reflekteres, bestemmes af overfladens såkaldte albedo: Jo lysere en overflade, desto større albedo og tilsvarende refleksion. Frisk, ren sne reflekterer ca. 90 % af lyset, mens meget mørke overflader, eksempelvis kul, suger næsten al sollys til sig. Samtidig udstråler Jordens overflade varmestråling som et modsvar til den mængde solstråling, der bliver absorberet. En betydelig del af denne varmestråling bliver fanget i atmosfæren af fx vanddamp og skyer, som så gen-udstråler noget af den tilbage mod overfladen. Dette betegnes også som drivhuseffekten.

Solens stråling er kortbølget, mens Jordens varmestråling er langbølget. Jorden modtager en uens fordeling af solindstråling året rundt, og da ækvator i gennemsnit modtager mere end polerne, giver det anledning til en bevægelse af energi fra ækvator mod polerne. Atmosfæren varetager størstedelen af denne energitransport i form af vind og vejr, som gradvis vekselvirker med Jordens overflade. På de høje breddegrader omkring Grønland sker denne energiudveksling med Jordens overflade primært gennem tre processer, de turbulente sensible og latente varmebidrag samt energi fra regn, der rammer overfladen. Den sensible og latente varmeudveksling stiger i takt med mængden af turbulens i atmosfærens nederste del, som typisk opstår ved store horisontale og vertikale forskelle i fx lufttemperaturer og vinde. Til slut lægges alle disse energibidrag sammen til at give den totale energibalance. Er dette tal positivt, har vi et overskud af energi, som kan bruges til at smelte den underliggende is.



S_i = kortbølget indstråling
 S_u = kortbølget udstråling
 α = albedo
 L_i = langbølget indstråling

L_u = langbølget udstråling
 H = flux af fri varme
 LE = flux af latent varme
 R = varmeflux fra regn

G = varmeflux under overfladen
 M = energi til rådighed for smeltning
 S_{net} = nettostråling

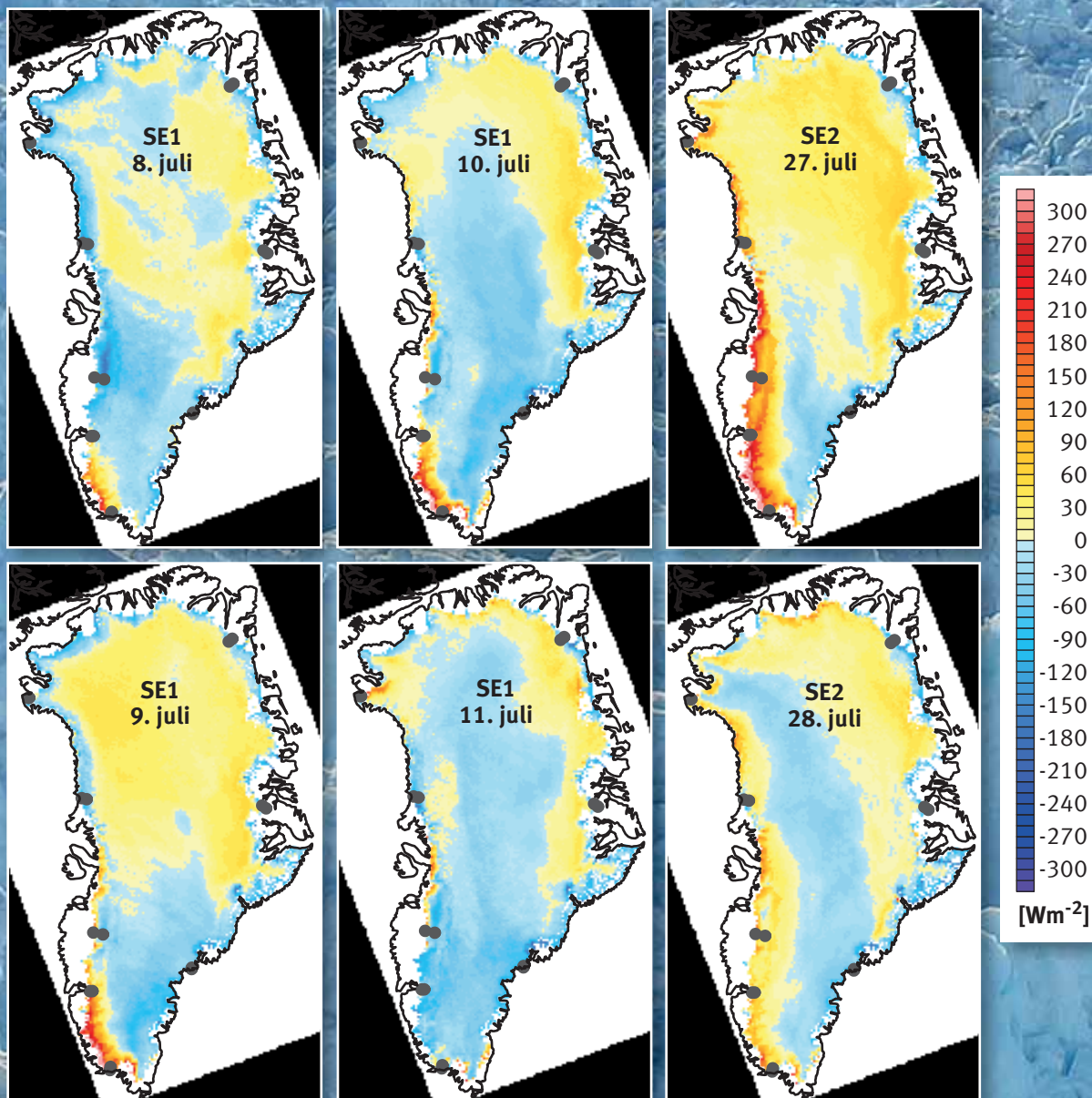
I disse områder kan lokale vejrstationer på isen, såkaldte in-situ-målinger, give en afgørende indsigt i den årlige og sæsonmæssige variation i afsmeltningen, og dermed bidrage til fortolkningen af de satellitobserverede eller modelsimulerede masseændringer på større rumlige skalaer. In-situ-målinger fra programmet for overvågning af Indlandsisen (PROMICE), som er et netværk af automatiske vejrstationer i otte områder på Indlandsisens rand, kan her bruges til at fortolke ekstreme vejr- og smeltefænomener (se figur s. 2). Vores analyser af PROMICE-netværkets vejrstationsmålinger viste, at de kraftige smelteepisoder i juli 2012 netop skyldtes en tilførsel af varm og fugtig luft i stedet for det mere klassiske billede, hvor sollyset er årsag til smeltningen.

Regionale klimamodeller og afsmeltning

Regionale klimamodeller kan hjælpe os til at forstå nutidens og fremtidens ændringer af overfladens energibalance og derved også overfladens massebalance (se boksen ovenfor). Modellernes styrke er, at de dækker hele Grønland, og i samspil med satellitmålinger kan man bestemme ændringer i Indlandsisens overflademassebalance over de sidste godt 40 år (perioden fra 1979 til 2015). Figuren på s. 4 illustrerer en regional klimamodells beregning af de to store hedebølger i juli 2012. De røde og orangerøde farver viser områderne, som blev berørt af hedebølgerne. Når man sammenholder vejrstationsmålinger med disse simuleringer, står det klart, at det varme, regnfulde og overskyede vejr medbragte store mængder energi, der skabte ide-

elle forhold for en exceptionel afsmeltning langs hele iskappens vestlige rand.

Vi finder dog også i vores studier af Indlandsisens overflademassebalance, hvor vejrstationer og model sammenlignes direkte, at de regionale klimamodeller generelt set undervurderer afsmeltningen nær randen. En direkte sammenligning med vejrstationsdata kan dog være vanskelig: Klimamodellen opererer med en horisontal detaljegrad på omtrent 5 km, mens vejrstationen kun måler ved et enkelt punkt. Men ser vi bort fra disse størrelsesforskelle, undervurderer klimamodellen i vores studie den totale smeltning, der fandt sted i løbet af de to hedebølgeepisoder med op til 56 procent i Sydgrønland (se figuren s. 5). Tager man gennemsnittet for begge episoder og for alle stationer i Grønland, er afsmeltningen undervurderet med 17 procent.



Figuren viser forskellen mellem turbulent og strålingsenergi, som modellen beregner er til rådighed for smeltning. Første smelteepisode (SE1) er illustreret i de 4 kort til venstre, mens den anden smelteepisode (SE2) er vist i de 2 kort til højre. Rødlige og orange nuancer indikerer hedebløgetilstande, mens blålige nuancer repræsenterer mere normale tilstand. Lyse blå og gule nuancer viser værdier nær nul.

Hedebløgers konsekvens for Indlandsisen og fremtiden

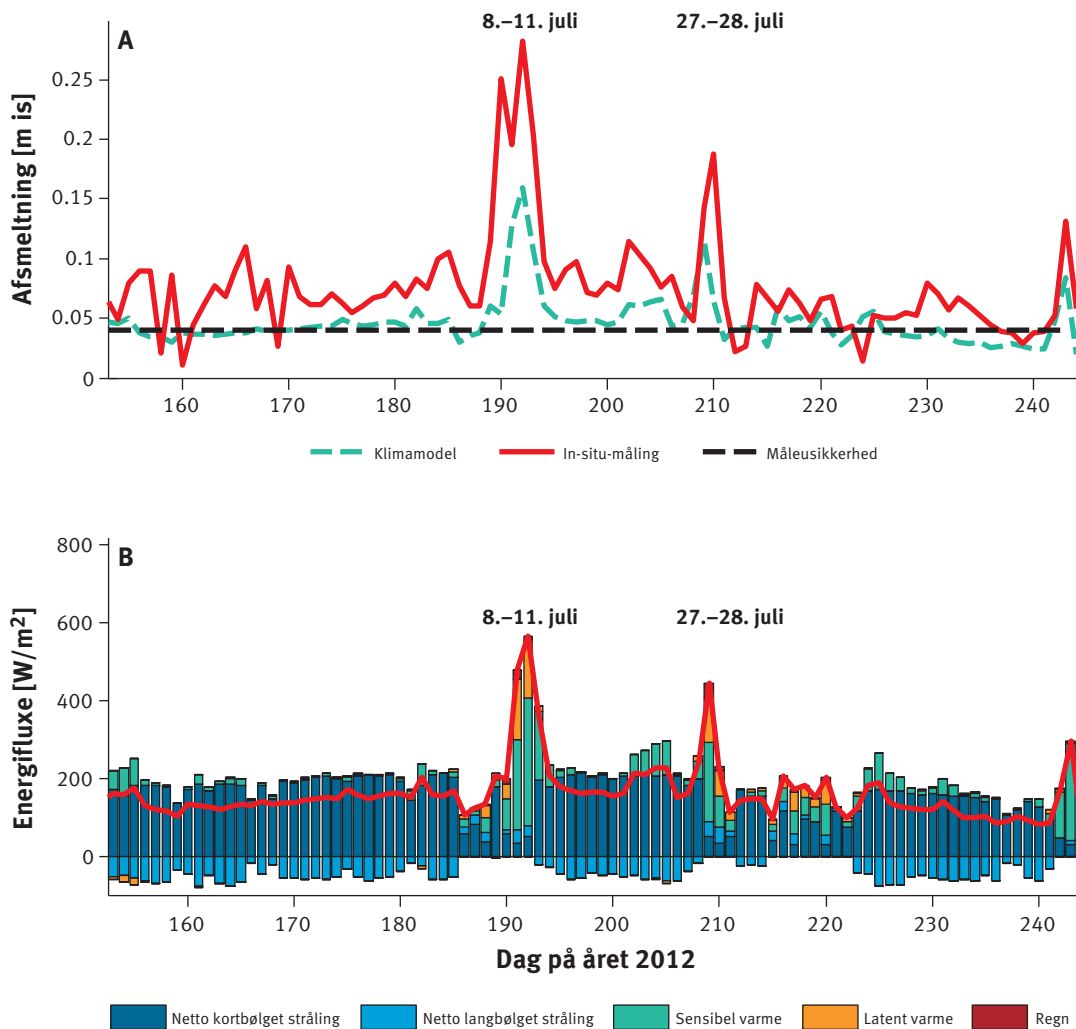
I takt med at et ændret klima gør Jorden varmere, kan vi forvente at se flere hedebløger på niveau med dem, vi har observeret i sommeren 2012. Figur på s. 5 illustrerer tydeligt, at klimamodellen underdriver afsmeltningen ved den allersydligste af PROMICE-vejrstationerne. Modellen underdriver gennem det meste af smeltesæsonen, men især under hedebløgerne. På grund af den varme og fugtige luft under hedebløgerne skifter afsmeltningen karakter til at være domineret af såkaldt sensibel og latent energiuudveksling, altså di-

rekte overførsel af varme og fugtighed fra atmosfæren til isen. Sensibel og latent varme er de to typer energifrigørelse eller -optagelse, der findes i atmosfæren. Latent varme er betegnelsen for de energiændringer, der følger med faseskift mellem væske, gas og fast stof (eksempelvis vand, vanddamp og is). Sensibel varme relaterer sig til ændringer i temperatur, der finder sted, når et legeme modtager eller afgiver energi.

Afsmeltningen under disse ekstreme hændelser i Grønland har selvfølgelig en virkning her og nu, men i det store hele er det største problem den gradvise globale temperaturstig-

ning. Vores undersøgelse her behandler ikke direkte spørgsmålet om afsmeltningens langsigtede effekt. Men andre studier har vist, at is skjoldet meget vel kan komme til at opleve flere og mere intense hedebløger i fremtiden. I og med at vi i vores undersøgelse fandt, at klimamodellerne undervurderer betydningen af disse ekstreme hændelser, vil vi også ende med et kumulativt underskud i vores modelforudsigelser af afsmeltningen i Grønland. Dette kan i sidste ende give for konservative prognoser for det fremtidige massetab af Indlandsisen i Grønland.





A: Sammenligning mellem den observerede og modellerede smeltning ved den sydligste vejrstation QAS_L (61°02' N, 46°51' W, 280 m over havniveau) i Grønland. **B:** Modellens energifluxe, der bidrager til smeltning ved QAS_L. Den røde linje indikerer den samlede smelteenergi.

Her kan du læse mere:

Ahlstrøm, A. P. (2009):

Grønlands indlandsis og klimaet – hvad sker der? Geoviden nr. 3, 2009, s. 8-15.

Langen, P.L., R. H. Mottram, J. H. Christensen, F. Boberg, C. B. Rodehacke, M. Stendel, D. van As, A. P. Ahlstrøm, J. Mortensen, S. Rysgaard, D. Petersen, K. H. Svendsen, G. Aðalgeirsdóttir, and J. Cappelen (2015):

Quantifying energy and mass fluxes controlling Godthåbsfjord freshwater input in a 5 km simulation (1991-2012). *Journal of Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00271.1.

Fausto, R. S., D. van As, J. E. Box, W. Colgan, P. L. Langen, and R. H. Mottram (2016):

The implication of non-radiative energy fluxes dominating Greenland ice sheet exceptional ablation area surface melt in 2012, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL067720.

Fausto, R. S., D. van As, J. E. Box, W. Colgan, P. L. Langen, and R. H. Mottram (2016):

Quantifying the surface energy fluxes in South Greenland during the 2012 high melt episodes using in-situ observations, *Front. Earth Sci.* Accepted.

SENESTE SKRED PÅ STEVNS KLINT – VED KLINTEGÅRDEN

Stevns klint er optaget på UNESCOs liste over verdensarvsområder. Derfor skal klintens tilstand løbende overvåges med hensyn til vedligeholdelse, risiko for skredfare eller andet, som kan være af betydning for de besøgende gæster. Det ikke muligt at forudsige, hvornår et skred af klintmateriale vil finde sted. Imidlertid kan de oplysninger, som fremkommer ved at analysere et skred, der allerede er sket, være med til at forbedre overvågningen af klinten. GEUS hjælper Stevns Kommune med sådanne analyser og herunder er der en kort beskrivelse af det skred, som skete ved Klintegården d. 5 juni 2016.

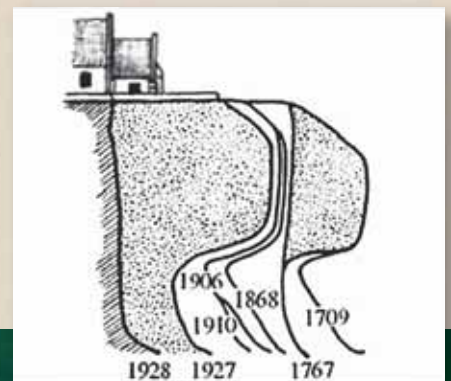
Skred langs Stevns Klint har været kendt siden det berømte skred i 1928, der medførte, at koret i Højerup gamle Kirke faldt ned. Ligesom ved de øvrige danske klinger forekommer skred jævnlige. Den specielle geologi ved Stevns Klint giver dog nogle særlige forhold, hvor vandrette overhæng bliver båret af den massive bryozokalk med en intern bankestruktur karakteriseret af flint-horisonter, som hænger ud over de blødere kridtlag, der lettere lader sig erodere af bølgernes saltvand. Tilstedeværelsen af Fiskeleret på Kridt-/Tertiærgrænsen er en medvirkende årsag til overhængenes plane undergrænse. Overhængene

ser dramatiske ud og vil hyppigt få folk til at tænke sig om mere end én gang, før de tager beslutning om at passere en kalkklippe med potentiel skredfare.

I forbindelse med udarbejdelse af nomineringsansøgningen til UNESCO om optagelse af Stevns Klint på listen over verdensarvsområder blev der foretaget en evaluering af risikoen for skred ved klinten.

Stevns Klint blev optaget på listen i 2014. Som led i forvaltningen og overvågningen af klinten foretog GEUS i maj-juli måned 2016 efter aftale med Stevns Kommune en yderligere vurdering af skredfaren ved klinten.

Imens undersøgelserne vedrørende skredforholdene foregik, skete der et nyt blokfald langs Stevns Klint. Søndag d. 5. juni 2016 kl. 5 om morgenen kollapsede kalkklinten ca. 400 m nord for Højerup gamle Kirke, ikke langt fra Klintegården, se foto s. 7. Det var et større skred, som efterlod et overhæng med betydelig risiko for yderligere kollaps inden for den nærmeste fremtid. Skreddet foregik et sted, hvor der er færdsel af besøgende, hvilket kan give grund til bekymring.



Højerup gamle Kirke med skredmateriale ved klintfoden. Skred langs Stevns Klint har været kendt siden det berømte skred, der i 1928 medførte, at kirkecoret faldt ned. På dette sted er der nu en kystbeskyttelse, der består af de nedfaldne blokke forstærket med grundfjeldsblokke. Stedets sårbarhed er dog meget mere udtalt lidt syd for trappen, hvor mange besøgende ynder at skrabe prøver af Fiskeleret ud og derved medvirker til udhuling af overhænget. Skitsen viser klintens tilbagetrækning på grund af erosion og skred fra 1709 til 1928.

Efter Rasmussen, 1967.



Flyfoto som viser det gamle skred ved Klintegården og den blok ved siden af, (nordøst for det gamle skred) som faldt ned 5/6-2016. Både nord og syd for skreddet ved Klintegården findes gamle kalkbrud.

Lokalisering af skreddet ved Klintegården

Skreddet ved Klintegården er beliggende i klintpartiet langs Kirkevig, ca. 400 m nord for Højerup gamle Kirke. Langs med Kirkevig har der lige som talrige andre steder langs Stevns Klint været kalkbrud, som har efterladt fremspring og farlige overhæng. Skreddet ved Klintegården er sket mellem to af disse kalkbrud, hvor et fremspring har stået med et overhæng på op til 6 m's bredde, se foto og diagrammer på s. 8.

Skreddet ved Klintegården skete lige nordøst for et skred, som tidligere har påvirket den del af klinten. Her er der en tendens til, at grundvandet siver ud af klinten, hvilket bl.a. kan ses på stedet ved den kraftige rustfarvning af bryozokalken på den øverste halvdel af klinten. Det udsivende grundvand kan også ses ved de lodrette striber i højre side af fotoet s. 8. Trampestien går på dette sted et stykke inde i lunden, som ligger mellem klintekanten og

Klintegården. Der er derfor ingen umiddelbar fare for, at færdsel på stien er behæftet med risiko for nedstyrtning. Det tilbagestående parti af klinten, som er ustabil, er bevokset med krat, der ikke inviterer til færdsel.

Vurdering af skredmassen i Klintegårdens skred

Skredmassen består af hele bryozokalk-blokken, på nær den øverste bænk på 1–2 m's tykkelse, der nu hænger tilbage som et brudparat udhæng, se foto s. 8. På ortofotoet ovenfor ses omridset af blokken set ovenfra. Det med rødt indrammede areal på ortofotoet er den nu nedfaldne klintblok. Blokken er fotogrammetrisk udtegnede. Højden af klinten på dette sted er 25 m. Kalkoverfladen ligger i ca. 22 m's højde. Grænsen mellem bryozokalk og skrivelridt ligger i en højde af ca. 11 m. Så faldhøjden har været fra 11 til 20 m, idet den tilbagestående kalkplade, som nu danner overhæng, vurderes til at være et par meter. Dette svarer

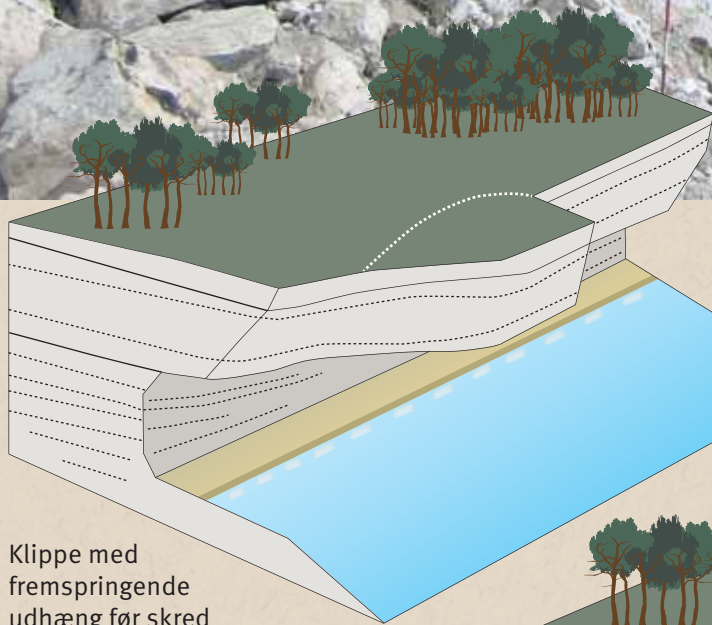
meget godt til foden af skreddet, som strækker sig 20 m ud over stranden fra brudvæggen til vandkanten.

Arealet af blokken (som ses ovenfra med rød markering i ortofotoet) er 100 m². Tykkelsen af blokken er ca. 9 m, arealet af stenskalsplader (se illustration s. 8), som er faldet ned, aftager opad mod toppen. Derfor er skredblok-kens volumen anslået til at være 700 m³, hvilket svarer nogenlunde til skredkeglens volumen, når man tager højde for, at den nedfaldne skredbunke har en porøsitet på ca. 50 %. Med en massefylde på ca. 2 svarer nedfaldet til ca. 1400 tons kalk.

Karakterisering af Klintegårdens skred og udløsningsmekanisme

Som det ses ovenfor bestod den fald-parate del af Stevns Klint ved Klintegården af en fremsstående og udhængende blok. Et fald af hele blokken vil blive betegnet som et blokfald. Imidlertid er skredtypen lidt mere sammensat,

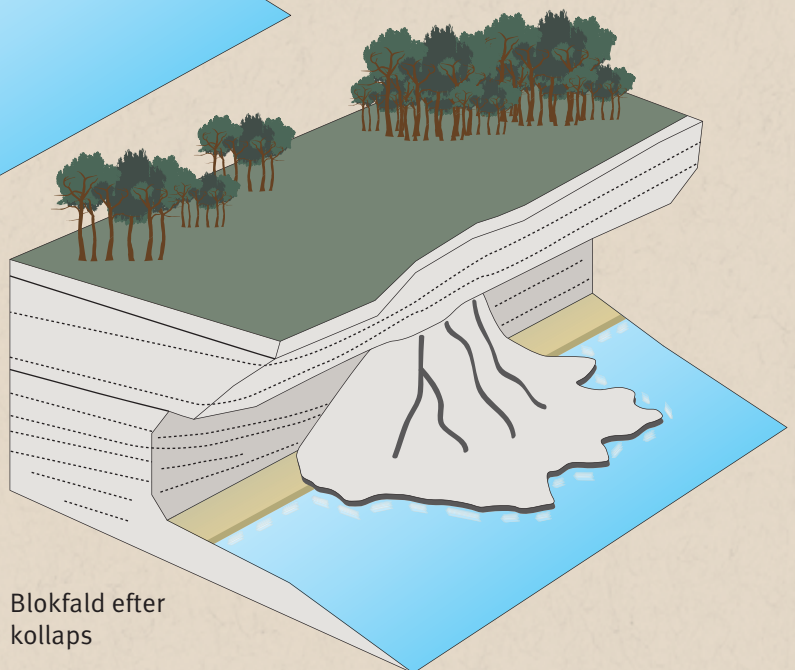
Det tilbagestående udhæng oven over brudfladen for Klintegårdensskredet har karakter af stenskalplader. Skalaiddelingen på landmålerstokken er 20 cm. Bemærk striberne efter udsivende grundvand. Denne type udhæng kaldes en stenskal. Fotoet er taget mod NØ, den 9/6-2016.



Klippe med fremspringende udhæng før skred

Ca. 40 m

Blokfald



Blokfald efter kollaps

To blokdiagrammer, som illustrerer situationen før og efter kollapset af klintblokken ved Klintegården. Skredet må primært betragtes som et blokfald, men med den konkavt hældende brudflade må skredet samtidig også være foregået som stenskal, hvor enkelte flager har løsrevet sig.

da det er separate flager, som er drattet ned. Flagerne anes nederst på foto s. 8. Derfor må skredet karakteriseret som en kombination af blokfald og stenskal (blokdiagrammer s. 8).

Udløsningen af skredet er primært betinget af, at der har været et op til 6 m bredt overhæng. Dernæst er det karakteristisk, at skredlokaliteten er domineret af udsivende kildevand. Dette betyder, at der er et stort porevandstryk, og dermed forbunden nedsat brudstyrke. Endelig må vejrforholdene tages med i betragtning. Begyndelsen af juni var karakteriseret af solrige dage med temperatur om dagen på over 25°. Men hen mod grundlovsdag blev det lidt køligere, og især nätterne havde en temperatursænkning. Alt i alt betyder dette, at om dagen påvirkes kalken af varme, som medfører en vis udvidelse. Om natten trækker kalken sig lidt sammen igen pga. temperatursænkning. Herved opstår der sprækker, langs hvilke grundvandet kan sive. En forøgelse af porevandstrykket i sprækkerne betyder at kalken til sidst giver efter og brækker af.


Hvis hele partiet var brækket af, og skredet havde medført et lodret brud, ville der ikke være nogen fare for skred de næste ca. 25 år. Men med det forholdsvis tynde overhæng, som står tilbage over skredstedet, er der stadig fare for, at et skred af størrelsesordenen 100–200 m³ i nærmeste fremtid vil blive udløst. Det anslås, at der kan gå fra nogle få dage og op til et år, før det sker, afhængigt af temperatursvingningerne. En periode med store temperaturskift, megen nedbør og stormvejr/bølgeerosion vil sikkert gøre en ende på flagen.

Den generelle skredssituation ved Stevns Klint

En vigtig parameter ved beskrivelsen af skredforholdene er erosionsraten. Figuren til højre giver en oversigt over erosionshastighederne langs Stevns Klint. Figuren er baseret på en opmåling af kystlinjen i hhv. 1891 og 2010. Erosionsraten er fremkommet ved at måle den horisontale afstand mellem de to kystlinjer og dele denne størrelse med det antal år, der er gået mellem opmålingerne. Den gennemsnitlige erosionsrate ligger på omkring 15 cm/år. Den hurtigste erosion er foregået i området mellem Lilledal og Storedal. Her er kalk og kridt lag foldet i en blid antiklinal, der har medført, at bryozokalken er eroderet bort fra overfladen, så klinten kun består af skrivelkridt. Under istiden blev kridtet yderligere

eroderet ned i den øvre del af antiklinalen, hvor der efterfølgende blev dannet en lavning med afsætning af smeltevandsler og moræner. Det må formodes, at Storedal og Lilledal en gang i fortiden var dale, som mundede ud ved strandkanten ligesom dalen ved Kulsti Rende på nordkysten af Stevns. Men erosionsraten af klintkysten har for længst overhalet dalerosionen på den østvendte kyst, så i dag er både Storedal og Lilledal hængende dale, som slutter midt oppe på klintprofilen. De steder, som markerer sig som mest erosionsruede, er nordøst for Boesdal, ved Klintegården, ved Stevns Fyr, Storedal og Lilledal, Flagbanken og Mandehoved. Det er især klinterne ved Klintegården, Flagbanken og Mandehoved, som tiltrækker sig opmærksomhed, fordi der her er fri passage langs klintfoden. Ved de øvrige lokaliteter er det vanskeligt at passere, så her er risikoen for at mennesker udsættes for skredfare lavere.

Konklusion

Skredet ved Klintegården på Stevns Klint skete som en kollaps af en ca. 700 m³ stor kalkklippe fra en højde af 11 til 20 m over strandplanet. Skredet skete kl. 5 om morgenen den 5. juni 2016, hvor det blev observeret af to fiskere, som netop havde passeret stedet til fods nedenfor klinten. Skredet skete med et voldsomt brag og udløste en større støvsky af finmalet kalkstensmel. Temperaturfaldet tidligt på morgenstunden har givetvis forårsaget den sammentrækning, som udløste bruddet på et sted, hvor porevandstrykket var højt. Tre faktorer vurderes som betydningsfulde for udløsning af skredet: 1) et kollapsmodent overhæng, 2) nedsættelse af brudstyrken pga. højt porevandstryk, og 3) temperaturændringer, som har medført udvidelse og sammentrækning af kalken, hvorved bruddet blev udløst. Området er vurderet til at have en moderat til høj skredrisiko. 



Erosionsraten af kystnedbrydningen langs Stevns Klint. Udregningen af erosionsraten er baseret på den ortogonale afstand mellem kystlinjen opmålt 1891 og 2010. Bemærk at den gennemsnitlige erosionsrate ligger mellem 15 og 18 cm/år, hvilket er moderat i forhold til den næsten 10 gange så høje erosionsrate, man oplever langs Vestkysten af Vendsyssel (se Geovidnen 2016/4). 1: Flagbanken, 2: Lilledal-Storedal, 3: Klintegården.

GENETABLERING AF STENREV I GILLELEJE NATURA 2000-OMRÅDE

Det var tidligere en udbredt opfattelse, at havet sletter alle spor og at havet indeholder udtømmelige ressourcer. Havets natur og miljø er og har længe været under pres fra menneskelige aktiviteter, fx tidligere tiders stenfiskeri. Stenene, der især blev fisket fra rev, blev brugt til etablering af havnemoler, kystsikring og andet anlægsarbejde. Rev er et levested for et væld af marine organismer. I Danmark er det især de huledannende stenrev med store overflader, som er blevet sjældne pga. stenfiskeriet. Tidligere tiders brug af sten fra havbunden har fjernet eller udtyndet mange stenrev på lavere vand (mindre end 10 m), men efterhånden som offentligheden blev mere opmærksom på, hvordan menneskelige aktiviteter påvirker havbunden, øgedes modstanden mod stenfiskeri. I flere omgange blev det forsøgt at regulere stenfiskeriet, men det blev først endeligt forbudt i 2010. Gilleleje stenrevsprojekt er et af flere projekter, der har til formål at genetablere stenrev.

Med Vandmiljøplanens vedtagelse i 1987 startede de første systematiske undersøgelser af stenrev. De nationale initiativer blev imidlertid overhalet af EU-regler, som forpligter medlemslandene til at udpege områder med forskellige habitattyper (EU Habitatdirektivet 1992) og til at udarbejde en målsætning for fremtidig forvaltning af områderne. Alle EU-habitatområder indgår i et fælles Natura 2000-netværk af naturbeskyttelsesområder, som omfatter både land og hav, se boks s. 11.

Stenrevene i Natura 2000-område nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten (se kortet) er en af mange lokaliteter, der er påvirket af tidligere tiders stenfiskeri, hvor fjernelse af store sten har forringet revenes artsrigdom. Derfor har Miljøstyrelsen (dengang SVANA) foreslået i Natura 2000-planen for området, at der foretages retablering af stenrev. Projektet skal bidrage til, at der opnås en gunstig bevaringsstatus for områdets rev.

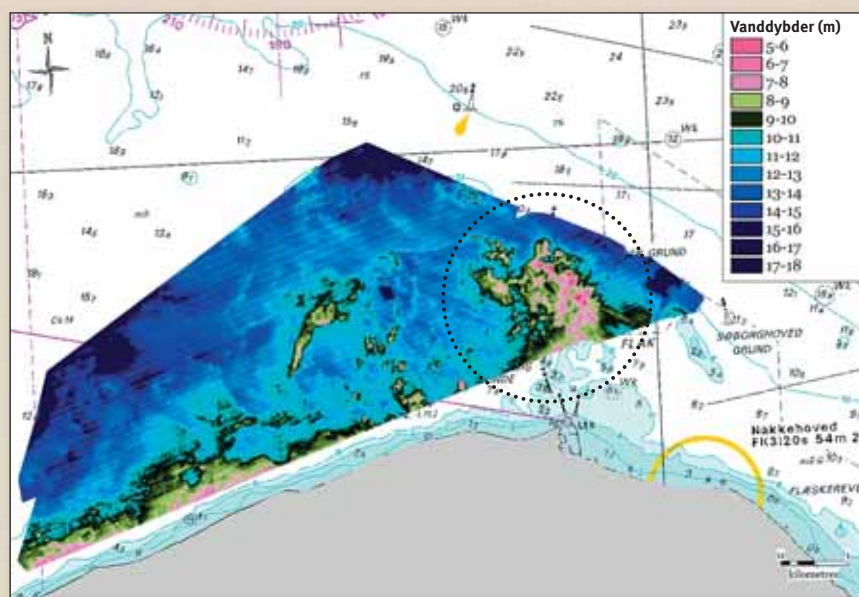
Lokaliteten Gilleleje Flak og Tragten blev valgt som område for retablering af stenrev, da det er et Natura 2000-område, udpeget for rev og marsvin, som allerede er beskyttet mod fiskeri med bundsløbende redskaber og andre menneskelige forstyrrelser. Dette vil sikre en gunstig effekt af det kommende, genoprettede rev. Stenfiskeriet i området har medført, at det eksisterende rev mangler huledannende elementer, med lavere diversitet af fauna til følge. Endeligt er området beliggende kystnært, hvilket forbedrer mulighederne for lokal formidling

om havets natur. Stenrevene ved Gilleleje rager op over den omgivende havbund, men størrelsen og tætheden af sten varierer, og kun få huledannende elementer er observeret. Stenrevet bliver et af de konkrete resultater af regeringens Naturpakke. I september måned 2016 søgte SVANA EU-LIFE (en fond under EU, der støtter naturprojekter) om tilskud til at genopbygge stenrevet, som forventes at blive bygget op i varierende højder, helt op til fire meter over

omgivende havbund, med mange små huler, der kan tiltrække forskellige slags fisk, samt søanemoner, krabber og andre bunddyr.

Forundersøgelser

Der er gennemført en række forundersøgelser for at sikre, at de retablerede dele af stenrevet vil kunne leve op til målene og ikke får utilsigtede konsekvenser for det omkringliggende område. Formålet med forundersøgelserne er at identificere og beskrive de dele af Gilleleje Flak, der med størst mulig effekt kan genopbygges til et sammenhængende og funktionelt rev. Udbredelsen af eksisterende stenrev og andre bundtyper samt sammensætningen og artsdiversiteten af flora og fauna på de forskellige bundtyper i området er kortlagt og beskrevet. For at identificere, beskrive og afgrænse stenrevene i området, er der gennemført en akustiske kortlægning af havbunden med side-scan-sonar, flerstråleekolod og se-



Vanddybderne i området kortlagt med flerstråleekolod, hvor de lave vanddybder er lyserøde og de dybere dele er mørkeblå. Gilleleje Flak er angivet med sort cirkel. Tragten er området mellem Sjællands NØ-kyst og Kullen.

Fotos er taget i dybdeintervallet 4-6 m på hård bund i den østlige del af undersøgelsesområdet ud for Gilleleje Havn (punkttyk GilDyk12).

Sukkertang (*Laminaria saccharina*), blodrød ribbeblad (*Delesseria sanguinea*).



Strengetang (*Chorda filum*).



Blodrød ribbeblad (*Delesseria sanguinea*).



Fingertang (*Laminaria digitata*).

Fotos: Birgitte Nielsen.

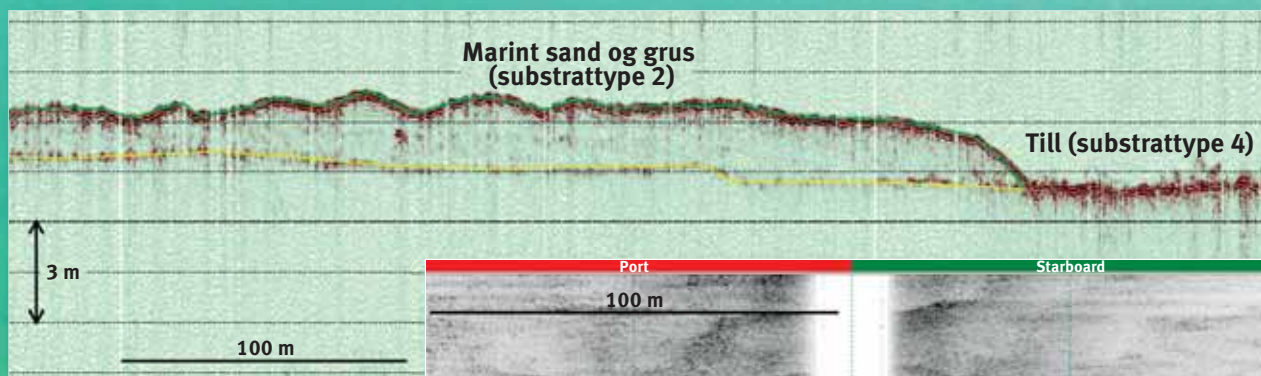
dimentekkolod, se figurer s. 12 og bokse s. 13. Efterfølgende blev der lavet en række undervandsvideoer af området til dokumentation af fordelingen af bundtyperne samt sammensætningen og arts-diversiteten af flora og fauna.

De biologiske forundersøgelser er udført for at få bedre forståelse af biodiversiteten. I begrebet diversitet indgår både *den arealmæssige udbredelse, fordelingen, mangfoldighed og variation i den levende natur*. Viden om disse parametre og deres ændringer over tid er en forudsætning for at vi kan værne om den naturlige fordeling af planter og dyr i et område. Desuden vil ændringer i biodiversiteten (boks s. 13) også påvirke alle andre levende organismer, eksempelvis fisk, der er afhængige af bunddyr og planter. Således er kortlægningen af stenrev et afgørende skridt for kortlægning og overvågning af de mest sårbare habitater. Kortlægningen dokumenterer samtidig de skadelige resultater, som menneskelige aktiviteter kan have forvoldt på revene.

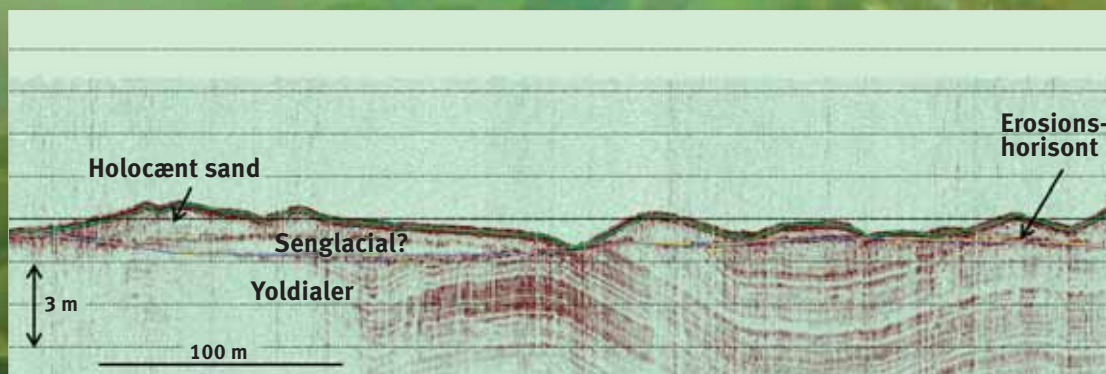
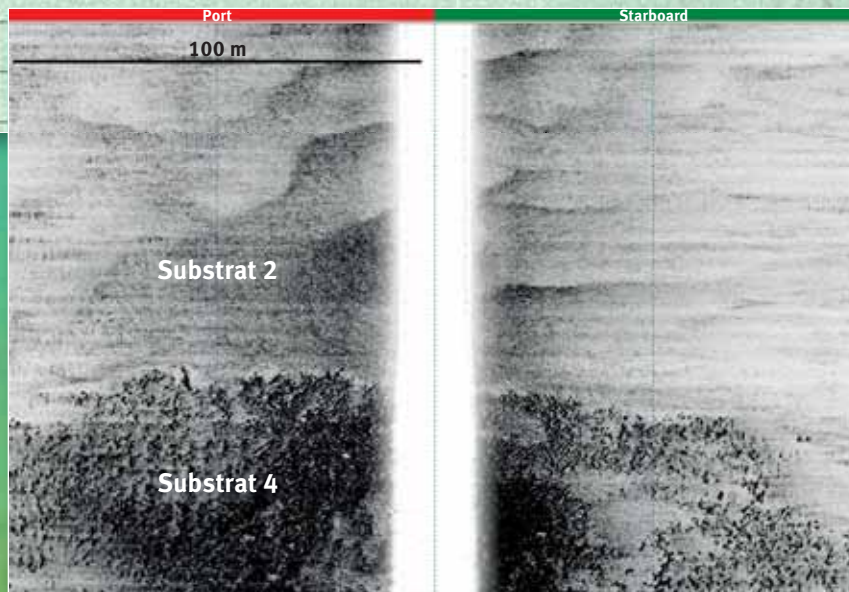
Hvad er et habitat?

EU's Habitatdirektiv blev lanceret i 1992 med det formål at sikre biodiversiteten gennem overvågning og beskyttelse af en række naturlige flora- og faunahabitater (levesteder) inden for EU. Sandbanker, stenrev og mudderflader er eksempler på habitattyper, som er særligt vigtige i Danmark. For at Danmark kan leve op til Direktivets forpligtelser til at beskytte de marine habitater igangsatte man en målrettet indsats for at kortlægge havbundens sedimenter og habitater på tværs af Europas grænser. For at indfri direktivets politik og krav om indførelse af beskyttelseszoner for alle truede arter og habitattyper inden for EU, blev Natura 2000-netværket etableret.

En biotop er et biologisk samfund bestående af dyre- og plantearter, så som et stenrev med tilknyttede tangplanter, fisk og bunddyr. Havbundens beskaffenhed er en vigtig faktor, der styrer havbundens biologiske samfund, hvad enten der er tale om grundfjelds-, hårbunds- eller mudderbundssamfund. Andre vigtige parametre er lysnedtrængning, saltholdighed samt ilt m.m. Ændringer i biodiversiteten ved eksempelvis stenfiskeri vil også påvirke alle andre levende organismer, eksempelvis fisk, der er afhængige af bunddyr og planter.



Øverst ses et seismisk profil fra sedimentekkoloddet, hvor sandede sedimenter overlejrer en stenet moræne. Forskellen i disse ses på side-scan-sonaren (til højre) hvor de sandede sedimenter ses som lyse strøg på billedet, mens morænen ses som en mere nubret og mørkere flade.



Et seismisk eksempel på geologien i området med Yoldialer overlejret af Holocænt sand.


Rev er nok det bedste eksempel på et habitat (boks s. 11), som har mange funktioner i et økosystem (boks s. 13) – her er plads til mange forskellige biologiske samfund. Et rev er fx et godt gydeområde, samtidig med at det kan tjene som beskyttelse for fisk og til fødesøgning.

Metoder og resultater

Havbunden afspejler i mere eller mindre grad den underliggende geologi, hvilket er illustreret i figurene ovenfor. Havbundssedimenterne giver et indblik i udbredelsen af forskellige sedimenttyper (substratyper på figuren) og

dermed også deres aflejningsmiljøer. Strukturen og tykkelsen af de underliggende lag bliver kortlagt vha. seismiske metoder (se fx Geoviden 2, 2014 eller 2, 2016). Ud fra seismiske og side-scan-sonar-undersøgelser af havbunden er der udpeget delområder, som kan bære vægten af de mange tunge sten.

Ved hydrodynamiske modelberegninger er det vist, at de genopbyggede rev ikke vil give væsentlige ændringer i transporten af havbundssediment eller i bølgehøjderne, og at revstrukturen kan modstå strøm og bølger under ekstreme vejrforhold. Etablering af hu-

ledannende rev vil som før nævnt forbedre biodiversiteten af bunddyr og planter i området, samt genskabe vigtige levesteder for mange fiskearter, som benytter de huledannende rev som skjulested, opvækst- og gydeområde mv. De biologiske forundersøgelser har vist, at makroalgensamfundene er veludviklede i områder med sten på alle dybder, men det er forskellige arter af makroalger (tang), der dominerer. Genetableringen af huledannende rev på Gilleleje Flak og Tragten forventes særligt at ville øge biodiversiteten af fisk og bunddyr, der er knyttet til sten. 

Side-scan-sonar

Side-scan-sonar-data giver et samlet billede af havbundens 'ruhed' og hårdhed. Der udsendes lyd fra sonaren mod havbunden, som reflekteres forskelligt afhængigt af havbundsmaterialet. Denne type kortlægning kan derfor fortælle, om havbunden består af dynd, sand, grus, sten, klippe osv., eller om den er dækket af muslinger eller ålegræs. Menneskeskabte strukturer som fx kabler, vrage, sugehuller fra sandindvinding og spor efter trawlfiskeri kan også ses ud fra disse data. På sandbund ses ofte sandbanker og ribbestrukturer, der vidner om transporten af havbundssedimentet. Mange af disse observationer er vigtige for at forstå den geologiske opbygning af havbunden, dens foranderlighed og fordelingen af bunddyr og planter. Side-scan-sonaren indgår som en vigtig del af den danske marine habitatkortlægning.

Sedimentekkolod (seismik)

Et sedimentekkolod sender korte lydbølger ned mod bunden, og det reflekterede lydsignal opfanges igen på båden. I en ren sandbund ligger sandkornene tæt pakkede, hvilket gør bunden hård og derfor er ekkoet kraftigt. Så snart sandbunden er iblandet dynd, stiger vandindholdet i sedimenterne og bunden bliver blødere. Fra en sådan blandet havbundstype reflekteres lydsignalerne ikke så effektivt og noget af lyden trænger et stykke ned i bunden, før det reflekteres tilbage til ekkolodet. Dette vandholdige sediment reflekterer ikke meget af ekkoloddets lydbølger, så dyndbunden fremstår transparent på ekkoloddets strimmel.

Hvad er et økosystem?

Et økosystem er et komplet miljø i naturen med alle levende organismer og ikke levende elementer – altså en kombination af plantesamfund, dyresamfund og mikroorganismer med en eller flere habitattyper til at forme en hel og fungerende enhed. Alle økosystemer (på land og i vand) hænger sammen i deres brug af pladsen, deres føde m.m. og ændringer i det ene økosystem påvirker de andre.

Hvad er biodiversitet?

Biodiversitet beskriver naturens mangfoldighed. Det betegner den brede vifte af dyr, planter, deres levesteder og deres gener. En høj biodiversitet er et udtryk for stor artsrigdom. Biodiversitet indgår i et samspil med det fysiske miljø for at skabe de økosystemer, som opretholder levende organismer.

Baggrundsfoto er Sukkertang (Laminaria saccharina), grisehaletang (Cystoclonium purpureum), violet ledtang (Polysiphonia fibrillosa) og klotang (Ceranium).

Foto: Birgitte Nielsen.

GEODIVERSITET POTENTIALE FOR KVANTIFICERING OG NATIONAL KORTLÆGNING

Naturen er et dynamisk kompleks af levende (biotiske) og ikke-levende (abiotiske) elementer, som vekselvirker. Det er en stor udfordring at kvantificere og værdisætte naturen. Biodiversitet er et udtryk for biologisk mangfoldighed og kvaliteten af den levende natur, og den vejer tungt i forvaltningen af den danske natur, fx igennem kvalitetsindekser. Det seneste skud på stammen er naturkapitalindekset, som skal give et hurtigt overblik over den danske natur på kommunebasis. Naturkapitalindekset er primært baseret på eksisterende data fra det danske biodiversitetskort. Men hvad med den ikke-levende natur – kan vi også kvantificere, kortlægge og værdisætte den? Det handler denne artikel om.

Geologer og geomorfologer begyndte tilbage i 1990'erne at anvende begrebet geodiversitet til at beskrive variationen af den ikke-levende natur, som vekselvirker med den levende natur, og geodiversitet betragtes ofte som netop den abiotiske søster til biodiversitet. Begrebet biodiversitet har siden 1970-80'erne med stor succes påvirket forskningsdagsordenen og naturforvaltningen, mens begrebet geodiversitet har levet en Askepot-tilværelse. Det til trods for at geobevarelse (geoconservation) har en lang historie, som går mere end et århundrede tilbage i tiden. Det mest berømte eksempel er nok Yellowstone, som er verdens første nationalpark, oprettet i 1872.

Begrebet geodiversitet og hvorfor det er vigtigt

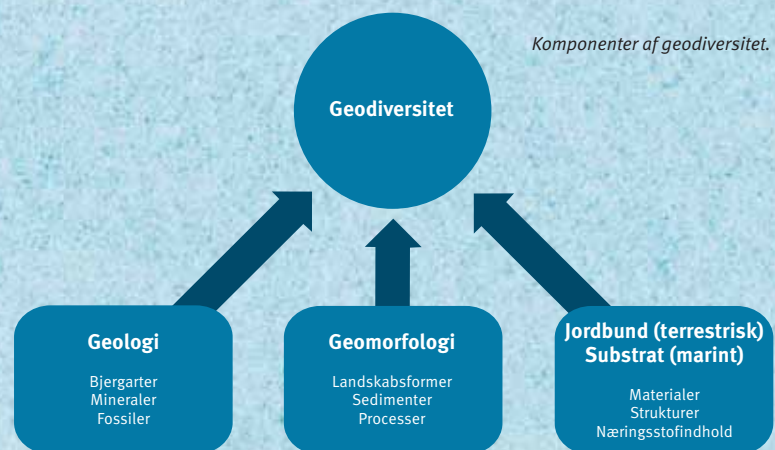
I første udgave af bogen *Geodiversity* fra 2004 definerede Murray Gray fra University of London geodiversitet som den naturlige variation (diversitet) af geologiske (bjergarter, mineraler, fossiler), geomorfologiske (landskabsformer, sediment, processer) og jordbunds- (materialer, struktur, næringsstofindhold) komponenter. Definitionen indeholder også disse komponenters relationer, egenskaber og systemer (se diagrammet til højre). I marine miljøer kan jordbund erstattes med substrat (havbund).

I Skandinavien har man gjort en stor indsats for at promovere geodiversitet (eller geo-

logisk mangfoldighed). Allerede tilbage i 1996 tog Nordisk Ministerråd initiativ til et projekt, hvor opgaven var at introducere netop begrebet geologisk mangfoldighed og gøre det kendt i forbindelse med naturforvaltning. Og det har haft en effekt. I samtlige af Danmarks nationalparker, og for Nationalpark Vadehavets vedkommende også for udnævnelsen til UNESCO Verdensarv, indgår elementer af geologisk mangfoldighed. De overvejende drivkræfter i de danske nationalparker har dog været af enten mere biologisk eller kulturel karakter. Anderledes er det i Geopark Odsherred, hvor det netop er den unikke geologi og geomorfologi, som har været drivkraften for optagelsen i Global Geoparks Network og se-

nere udnævnelsen til UNESCO Global Geopark. Geopark Odsherred er beskrevet udføreligt i Geoviden 2015 nr. 1: *Geopark Odsherred – Danmarks første geopark*. Med Geopark Vestjyllands ansøgning om optagelse på listen over UNESCO Global Geoparks er Danmark på vej mod sin næste internationale geopark.

I den offentlige naturforvaltning udenfor nationalparkerne og geoparkerne er sagen dog en anden. Her spiller geodiversitet en væsentlig mindre rolle end biodiversiteten. Dette kommer bl.a. til udtryk gennem beskrivelsen af naturtyper og ligeledes gennem diverse indikatorer til vurdering af miljøtilstand. De primære indikatorer og indekser er af overvejende biologisk karakter, mens de mere fysiske er sekundære og af understøttende karakter. Dette gælder fx indikatorerne og indekserne, som er udviklet til danske vandløb i forbindelse med EU's Vandrammedirektiv, hvor de primære indekser som Dansk Vandløbsfauna indeks, Dansk Vandløbsplante indeks og Dansk Fiske-



indeks beskriver biodiversiteten, mens det sekundære og understøttende Dansk Fysisk Indeks beskriver geodiversiteten.

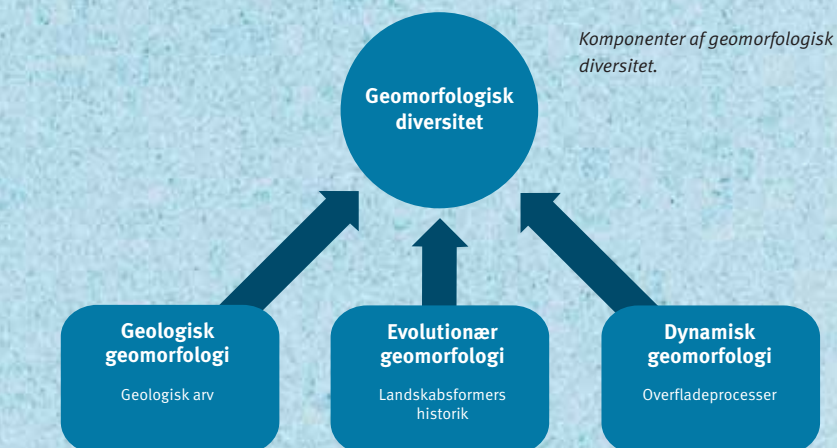
Geodiversitet og geomorfologisk diversitet i praksis

Rent praktisk kræver en bestemmelse af geodiversiteten i et givet område information om alle komponenterne af geodiversitet (se diagram s. 14), dvs. om *geologien* fra fx analyser af borekerner og seismiske profiler, *geomorfologien* fra fx analyser af sedimentprøver og overflade- og terrænopmålinger samt *jordbunden* fra fx analyser af jordbundsprofiler og laboratorieanalyser af jordbundsprøver, for *substratet* i det marine miljø fra fx analyser af borekerner og sedimentprøver. For Danmarks vedkommende ligger en række af denne type af data frit tilgængeligt i offentlige databaser, som oftest oven i købet som lettilgængelige GIS-lag; men alle disse datalag er baseret på punkt- eller profildata med højere eller lavere rumlig opløsning. Kun én datatype er reelt fladedækkende med høj rumlig opløsning (dvs. 100% dækningsgrad med en punktdensitet i størrelsesordenen ét datapunkt pr. kvadratmeter): de nationale højdemodeller, se opslaget s. 16-17.

Den første nationale højdemodel kan i år fejre sit ti-års-jubilæum. Denne højdemodel har i forskellige afskyninger haft stor og bred anvendelse både i undervisning, forskning, den offentlige administration og i den private rådgivningssektor. De nationale højdemodeller dækker dog kun den terrestriske del af landet, dvs. ikke de marine miljøer, og heller ikke søer og vandløb samt øvrige vanddækkede områder på opmålingstidspunktet.

Med udviklingen indenfor skibsbårne batymetriske stråleekkolod (multibeam) og luftbårne topografiske laserscannere (rød lidar) er det siden årtusindeskiftet blevet muligt at opmåle fladedækkende topografi i terrestriske miljøer og batymetri i marine miljøer med høj opløsning og med stor rumlig dækning. Indenfor de seneste få år har luftbåren topobatymetrisk laserscanning (grøn lidar) tilmed gjort det muligt at lukke hullet mellem terrestriske og marine miljøer i land-vand overgangszoner. Topobatymetrisk laserscanning er beskrevet i Geoviden 2016 nr. 2: *Geologi på tværs af kysten*.

Hermed adskiller geomorfologien sig væsentligt fra de øvrige komponenter af geodi-



Komponenter af geomorfologisk diversitet.

versitet (geologi og jordbund/substrat) og i særdeleshed biodiversitet, som ikke kan kortlægges fladedækkende med en tilsvarende rumlig opløsningsgrad.

Geomorfometri og geomorfologisk diversitet

Allerede visuelt giver en detaljeret højdemodel et helt unikt billede af landskabet (se Boksene s. 16-17). Det er dog først ved en yderligere matematisk og statistisk analyse af en højdemodel, at det virkelige potentiale forstås. Parallelt med udviklingen af teknologier til fladedækkende højopløselige opmålinger til generering af højdemodeller har disciplinen geomorfometri udviklet sig med kvantespring siden årtusindeskiftet. Geomorfometri er opstået i krydsfeltet mellem geovidenskaberne (specielt geomorfologi, hydrologi og økologi), matematik (specielt geometri, topologi, informationsteori og geostatistik) og computervidenskab (specielt GIS, billedanalyse og mønstergenkendelse). Denne kombination og parallelle udvikling af teknologier til opmåling af landskabet og metoder til generering og analyse af højdemodeller har muliggjort en tilnærmelsesvis revolutionerende udvikling indenfor kvantitativ geomorfologi. Det har givet mulighed for en fladedækkende kvantificering af geomorfologisk diversitet, den geomorfologiske komponent af geodiversitet (se s. 14). Geomorfologisk diversitet er et produkt af både geologisk arv (geologisk geomorfologi), landskabsformerens historie (evolutionær geomorfologi) og de nuværende overfladeprocesser (dynamisk geomorfologi) (se øverst her på siden).

De fire eksempler på geomorfologisk diversitet i forskellige miljøer på de næste sider gi-

ver et indblik i en del af den udvikling, som har fundet sted indenfor kvantitativ geomorfologi siden årtusindeskiftet. Samlet set viser eksemplerne, at de nødvendige teknologier og metoder til en komplet fladedækkende højopløselig kortlægning er til stede med mulighed for at kvantificere geomorfologisk diversitet. Med andre ord, det er muligt at tage det første skridt mod en komplet fladedækkende kvantificering og national kortlægning af geodiversitet.

Det store spørgsmål er naturligvis, hvad vil en national kortlægning af geodiversitet bidrage med til samfundet?

Værdisætning af geodiversitet

En national kortlægning af geodiversitet vil give en kvantitativ basis for en værdisætning af abiotisk natur på nationalt plan, idet geodiversitet kan opfattes som et udtryk for kvalitet. En sådan værdisætning vil til dels være relativ og subjektiv, men den vil først og fremmest være transparent, idet den vil være baseret på en kvantitativ analyse af fladedækkende data.

Det vil give et kvantitativt fundament for geobevarelse (geoconservation), hvor det er vigtigt at pointere, at geobevarelse også skal bevare den naturlige dynamik. Geobevarelse kan bane vejen for udnævnelse af konkrete eksempler til geoarv, som ofte er udgangspunktet for geoturisme og oprettelsen af fx geoparker. Samtidig har geoparker også en positiv funktion for geobevarelse, så de kan være med til at starte en positiv spiral.

Geoturisme er en branche med vækstmuligheder, og det bliver spændende at følge og evaluere Geopark Odsherred og Geopark Vestjylland med dette socioøkonomiske perspektiv, som er en af de centrale drivkræfter bag geoparkerne.

Geomorfologisk diversitet i et terrestrisk miljø: Thyholm i Geopark Vestjylland

Thyholm, som ligger i den vestlige del af Limfjorden og er en del af Geopark Vestjylland, er med sin veldefinerede afgrænsning til det marine miljø valgt som eksempel til at demonstrere geomorfologisk diversitet i et terrestrisk miljø. Den største by på Thyholm hedder Hvidbjerg, hvilket kommer sig af, at der er højtliggende kridtaflejringer, som er presset op af underliggende saltstrukturer. Det afspejler den *geologiske arv* i området. Tidligere blev kalken udvundet i Bjørndal Kalkværk, hvilket har efterladt tydelige spor i landskabet. Det er et eksempel på sammenhængen mellem natur- og kulturlandskabet, og på hvordan kvantificering af geomorfologisk diversitet også kan være med til at identificere og afgrænse områder i forhold til kulturbevarelse og kulturarv. Overordnet er *landsksformernes historie* skrevet af sidste istid i form af et morænelandskab med dale eroderet af smeltvand. Desuden er der udbredte områder med marint forland; og som det er tilfældet mange steder i Danmark er dele af det marine forland også på Thyholm blevet kunstigt tørlagt vha. diger og kanaler med henblik på opdyrkning. Der er også dannet smukke strandvolds- og krumoddesystemer. I dag er *overfladeprocesser* såsom opskylsprocesser og krumoddedannelse stadig med til at forme landskabet på Thyholm, ligesom erosion af det eksponerede morænelandskab langs kysten er med til at skabe et dynamisk landskab med aktive kystkliner.

Den præcise afgrænsning af disse morfologiske enheder ud fra højdemodellen alene kan være vanskelig; men i kombination med fx en hældningsmodel bliver afgrænsningerne meget tydeligere. Hældningsmodellen er den første afledte af højdemodellen, dvs. rent matematisk er det en differentiering af højdemodellen. Adskillige studier har vist, at netop hældningen er en af de mest anvendelige afledte parametre af højdemodellen til automatisk klassificering af morfologiske enheder. Ofte bygger en automatisk klassifikation dog på flere afledte parametre og på indekser, som typisk udtrykker forhold mellem forskellige afledte parametre (et eksempel på automatiseret geomorfologisk klassifikation er vist i boksen om geomorfologisk diversitet i kystzonen med Knudedyb i Nationalpark Vadehavet).

Data: Geodatastyrelsen/Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering.



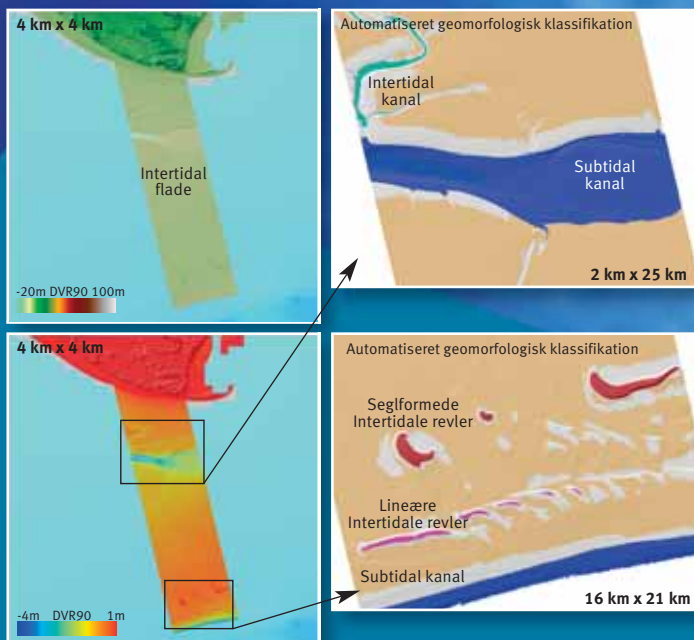
Thyholm

Geomorfologisk diversitet i kystzonen: Knudedyb i Nationalpark Vadehavet

Den fladedækkende højopløselige opmåling af et intertidalt område i Knudedyb, midt i Nationalpark Vadehavet, illustrerer primært, at selv i meget dynamiske overgangszoner mellem det terrestriske og marine miljø er det nu indenfor de seneste få år blevet muligt at kortlægge landskabet vha. topobatymetrisk lidar.

Ydermere illustrerer dette eksempel, hvordan geomorfometri kan anvendes til en automatiseret geomorfologisk klassificering af landskabet, og dermed til en kortlægning og kvantificering af geomorfologisk diversitet. I dette tilfælde er klassificeringen baseret på en kombination af parametre og indekser afledt fra højdemodellen samt en relation til tidevandstørrelsen i området. Klassifikationen anvender dermed lokale grænseværdier, men universelle principper.

Data: IGN-KU/AHM/NIRAS (lidar data).



Knudedyb

Lillebælt

Ribe Vesterå

Geomorfologisk diversitet i et marint miljø: Lillebælt i Naturpark Lillebælt

Lillebælt i det marine miljø er karakteriseret ved en høj biodiversitet, og det er også omdrejningspunktet i Naturpark Lillebælt. Et udsnit af Lillebælt – strækningen mellem de to Lillebæltsbroer – viser, at også den geomorfologiske diversitet i Lillebælt er stor. Den store gennemstrømning med høje strømhastigheder og store rumlige og tidslige variationer, er et resultat af samspillet mellem morfologi og strøm, (morfyndynamisk feedback mekanisme). Det er med til at skabe denne geomorfologiske diversitet som følge af erosions- og aflejringsmønstre over lang tid. Komplekse erosions- og aflejringsmønstre kan kvantificeres med en højdeforskelsmodel beregnet på baggrund af højdemodeller opmålt til forskellige tidspunkter, i dette tilfælde med ét års mellemrum. Dette illustrerer ud over den rumlige diversitet også den temporale diversitet, som er yderst relevant for den tilknyttede biodiversitet.

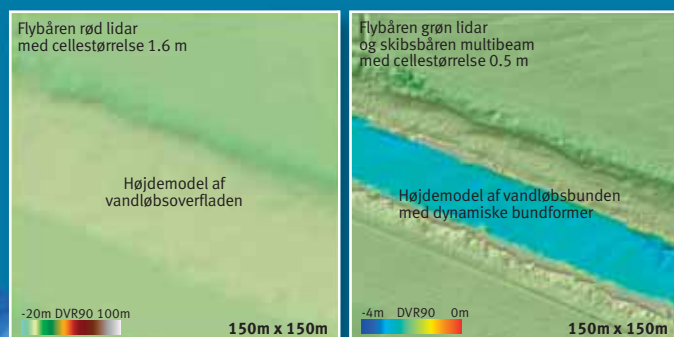
Data: IGN-KU/IG-AU i forbindelse med kandidatkurset Marine Geoscience 2015 og 2016.



Geomorfologisk diversitet i et vandløb: Ribe Vesterå i Nationalpark Vadehavet

Ribe Vesterå, som er en del af Nationalpark Vadehavet, er ligeledes blevet fladedækkende opmålt med høj rumlig opløsning. I Danmark foregår myndighedernes vandløbskortlægning og -monitoring stadig på baggrund af tværprofilopmålinger, hvor langt den største del af vandløbet ikke bliver opmålt. Tværprofilopmålinger kan give et estimat af vandløbets overordnede geometri, men den geomorfologiske diversitet i vandløbet og koblingen mellem vandløb og ådal kan kun kortlægges og kvantificeres med fladedækkende højopløselige opmålinger. I flere af vores nabolande er fladedækkende højopløselig vandløbskortlægning standard. I Danmark ville en sådan praksis give et potentielt bedre grundlag i forvaltningen af lokale vandløbsregulativer, og det ville åbne op for nye muligheder i forhold til optimering af bl.a. skånsom grødeskæring samt dimensionering i forhold til fremtidige ændringer i vandføring som følge af fx klimaforandringer. Ligeledes ville det give mulighed for en bedre evaluering af sammenhænge mellem geodiversitet og biodiversitet, som har været et paradigme i mange naturgenopretningsprojekter i danske vandløb i løbet af de seneste tyve år.

Data: IGN-KU/AHM/NIRAS (lidar data) og IGN-KU/Senckenberg am Meer (multibeam data).



Her kan du læse videre:

Geoviden 2016, nr. 2:

Geologi på tværs af kysten

Geoviden 2015, nr. 3

Værdifuld geologi og geologibevarelse i Danmark

Geoviden 2015, nr. 1:

Geopark Odsherred – Danmarks første geopark

Geoviden 2014, nr. 2:

Den danske havbund

Geodiversitet som fundament for økosystembaseret forvaltning

Det vigtigste bidrag fra en national kortlægning af geodiversitet vil være i naturforvaltningen. Både i Danmark og globalt er der målsætninger om at forvalte naturen med en bæredygtig og helhedsorienteret økosystembaseret tilgang. Generelt kan et økosystem karakteriseres som et dynamisk kompleks af planter, dyr og mikroorganismer og deres ikke-levende miljø i interaktion som én funktionel enhed. Ofte består et økosystem af flere habitater, dvs. flere grupper af dyr og planter, som lever i tilknytning til deres miljø. Fundamentet for disse habitater, og for økosystemer generelt, er kombinationen og interaktionen af geodiversitet og biodiversitet, se nedenfor.

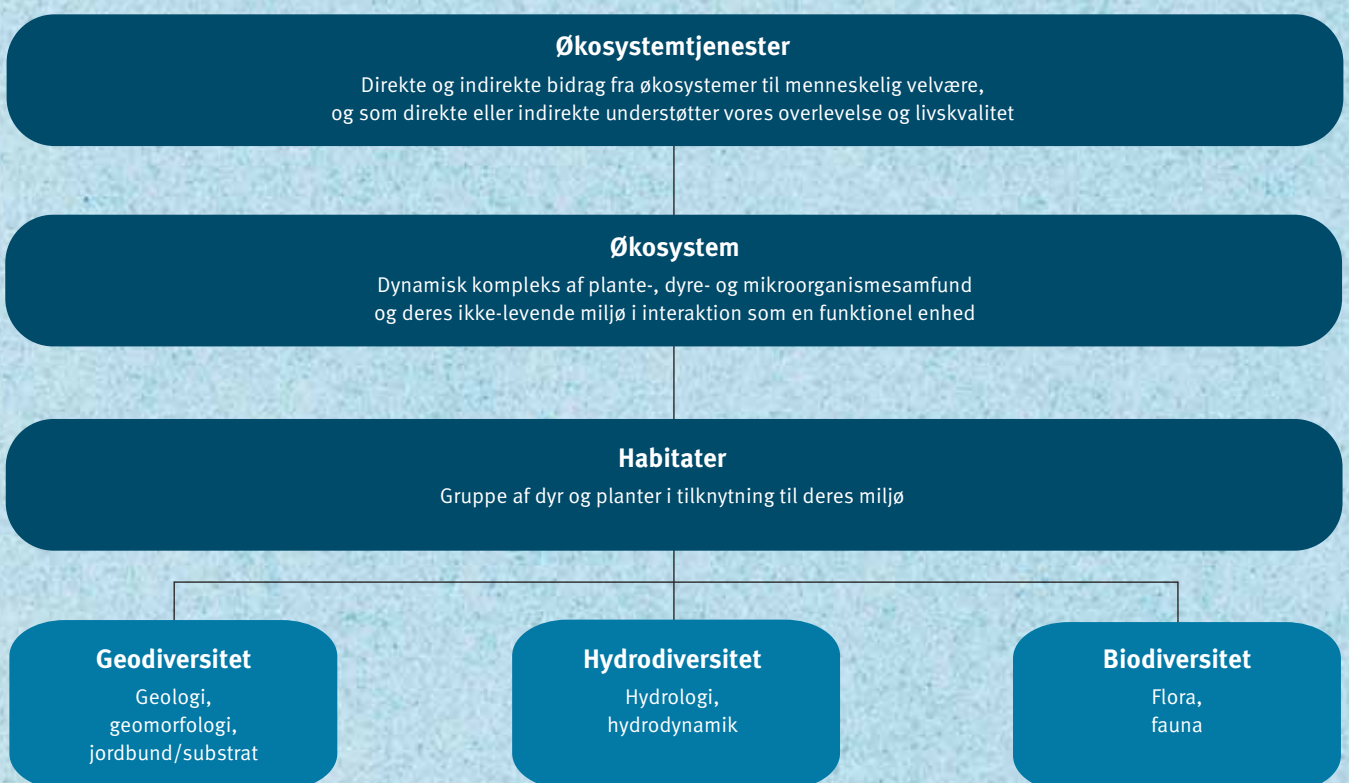
I sin anden udgave af bogen *Geodiversity* fra 2013 udvider Murray Gray definitionen af geodiversitet til også at inkludere hydrologiske komponenter. Vi mener i stedet, at de hydrologiske og hydrodynamiske komponenter bør karakteriseres som hydrodiversitet, som sammen med geodiversitet og biodiversitet

udgør fundamentet for habitater og økosystemer, både i terrestriske og i marine miljøer, se nedenfor. Dermed er der også en direkte kobling af disse begreber til Jordens geo-, hydro- og biosfære.

Ofte bliver geodiversitet karakteriseret som fundamentet for biodiversitet, men koblingen går begge veje, og det samme gælder for hydrodiversitet. Der er en mere eller mindre dynamisk interaktion mellem alle tre. En økosystembaseret forvaltning forudsætter derfor integration og dermed kortlægning og monitoring af både geo-, hydro- og biodiversitet.

Med en erklæret målsætning om at forvalte naturen med en bæredygtig og helhedsorienteret økosystembaseret tilgang står vi specielt i det kystnære marine miljø over for store udfordringer i den nærmeste fremtid. Regeringen ser store vækstmuligheder i dansk akvakultur og har en målsætning om, at produktionen skal vokse med 20% inden 2020. Denne kommende industrialisering af havbrug vil utvivlsomt påvirke fundamentet (geo-, hydro- og biodiversiteten) i vores marine øko-

systemer lokalt og potentielt også regionalt. Inden vi bevæger os ud på for dybt vand med dette væksteventyr, bør vi forinden kvantificere og kortlægge geo-, hydro- og biodiversiteten både med henblik på at identificere de optimale lokaliteter for akvakultur med henblik på *benyttelse*, afhængig af om det er produktion af fisk, muslinger, snegle, tang, osv., men også for løbende at kunne evaluere effekten af havbrug på hele økosystemets fundament med henblik på *bevarelse*. Dette er et eksempel på, hvordan økosystemtjenester, der kan karakteriseres som direkte og indirekte bidrag fra økosystemer til menneskelig velvære, og som direkte eller indirekte understøtter vores overlevelse og livskvalitet, både kan være relateret til benyttelse og bevarelse; og at begge dele bygger på et solidt fundament af geo-, hydro- og biodiversiteten. Med geodiversitetens kobling til både hydro- og biodiversitet er en fladedækkende højopløselig kvantificering og kortlægning af geomorfologisk diversitet et optimalt udgangspunkt for en forbedret forvaltning.



Geodiversitet som en del af fundamentet for økosystembaseret forvaltning.

KØBENHAVNS UNIVERSITET



Kom til Åbent Hus

5. maj kl. 13-17

Geografi og geoinformatik Geologi-geoscience

Social-geografi
 Globalisering og u-lande
 Bygeografi og -planlægning
Økonomisk geografi
 Klimaændring og kulstofcyklus
 Jordbundsgeografi
 landskabs- og miljøforvaltning
 Regions- og byplanlægning
 GIS- og satellitbilleder
 kulturlandskabets geografi
Vandressourcer
 Landskabsgeografi og forvaltning
Klimaforskning
 Grundvandsovervågning
Naturbeskyttelse
 Forureningsbekæmpelse
Klimaforskning
 Beredskab ved naturkatastrofer
 Efterforskning af råstoffer
 som olie, gas, mineraler
Naturvejledning
 Udvikling af nye materialer

Læs mere om arrangementet

ign.ku.dk/aabenthus2017

Facebook

Geografi og Geoinformatik
Geologi - Geoscience

På Åbent Hus kan du:

- høre faglige oplæg
- komme på rundvisning
- møde studerende, undervisere og geografer/geologer i job

Blive klogere på:

- studiestart
- undervisning
- uddannelsernes rammer og fagområder
- forskningsområder
- udlandsophold
- studenterforeninger
- jobmuligheder
- samarbejde med virksomheder
- og meget mere!

Vi glæder os til at se dig!

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning - Øster Voldgade 10, 1350 København K

Undervisning om jordskælv og pladetektonik

Den danske Seismologiske Tjeneste ved GEUS fejrede 90 års fødselsdag i marts 2017. Tjenesten registrerer jordrustelser i både Danmark og Grønland og har lavet undervisningsmaterialer om jordskælv og pladetektonik. Besøg:

Viden Om Den Dynamiske Jord

Viden om jordskælv og tsamier, inklusiv en kvik guide til jordskælv. Webtema med artikler, videoer, billeder, grafik, animationer, hæfte og overheads.

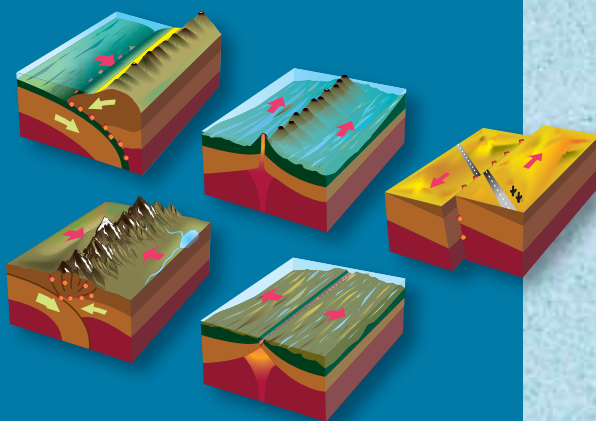
http://www.geus.dk/viden_om/ddj/index-dk.html

Jordskælv og pladetektonik - e-læringsprogram

E-læringsprogram hvor de væsentligste begreber om jordskælv og pladetektonik bliver forklaret og bliver gjort levende med illustrationer og eksempler.

Materialet er også velegnet til selvstudium.

<http://www.geus.dk/DK/popular-geology/edu/e-learning/Sider/default.aspx>



GEOCENTER DANMARK

GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, samt Geologisk Museum (Statens Naturhistoriske Museum) begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

UDGIVER

Geocenter Danmark.

ISSN 1604-6935 (PAPIR)

ISSN 1604-8172 (ELEKTRONISK)

REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Annette Thy, tlf.: 91 33 35 03, e-mail: athy@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidefoto: Ilulissat Isfjord.

Foto: Andreas P. Ahlstrøm, GEUS.

Reprografisk arbejde: Benny Scharck, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.



GEUS

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 38 14 20 00

E-mail: geus@geus.dk



INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG
NATURFORVALTNING (IGN)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 25 00

E-mail: ign@ign.ku.dk



INSTITUT FOR GEOSCIENCE (IG)

Aarhus Universitet

Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670

8000 Århus C

Tlf: 89 42 94 00

E-mail: geologi@au.dk

GEOLOGISK MUSEUM (SNM)

Øster Voldgade 5-7

1350 København K

Tlf: 35 32 23 45

E-mail: snm@snm.ku.dk

DANMARK

PP

Magasinpost UMM
ID-nr. 46439