Hvor meget stiger havet?

Teknologiske landvindinger har gjort det muligt at rekonstruere en kurve over havniveauet de sidste 1000 år ud fra undersøgelser af gamle strandlinjer på Læsø. Resultaterne antyder, at nutidens havstigning primært reflekterer naturlige variationer i havniveauet.

Af Jens Morten Hansen

Foto: Lasse Gudmundsson.

Naturligt snit gennem den yngste/yderste strandvold på en strandeng-holm ved Hornfiskrøn. Strandvolden er ca. 30 cm højere end sandfladen til højre i billedet, der omkranser Læsøs sydlige dele. Strandvolden består af finkornet sand vekslende med organisk materiale. Bemærk lagdelingen af organiske lag med tynde lag af opskyllet finsand (stormlag), der er fanget i vegetationen.

■ Hvor meget vil verdenshavet stige i det 21. århundrede? Svaret på det spørgsmål varierer betragteligt, afhængig af hvilke forskere, man spørger. Nogle forskere siger flere meter, andre siger 30 centimeter.

Årsagen til disse betydelige udsving i forudsigelserne skyldes især, at det er meget vanskeligt at måle havstigningen, fordi referencerammen (den faste jord) også bevæger sig med sammenlignelige hastigheder.

En nøjagtig vurdering af stigningen i havniveauet kan man derfor kun opnå, hvis man meget præcist kan korrigere for de faktorer, der får den faste jord til at bevæge sig.

I en større undersøgelse, som jeg netop har publiceret sammen med kystmorfologerne Troels Aagaard og Merete Binderup, har vi anvendt flere og mere præcise korrektioner, end man hidtil har haft mulighed for, og vi har ligesom andre nye undersøgelser efter 2006 fundet, at Atlanten og dermed Nordsøen og Østersøen har naturlige cykliske variationer af vandstanden med en periodelængde på ca. 70 år. Havstigningen i nutiden kan meget vel vise sig primært at reflektere dette naturlige mønster.

Dertil kommer, at oceanernes enorme, dybtliggende vandmasser fortsat er påvirket af de lave temperaturer under sidste istid. Den naturlige varmeududvidelse af de dybtliggende vandmasser – som giver sig udslag i en havstigning – er derfor fortsat aktiv i nutiden som følge af istidens ophør for 12.000 år siden.

De forskere, som det internationale klimapanel (IPCC) bygger på, korrigerer de målte havniveaustigninger med på 0,1 til 0,2 mm/år. Vi finder derimod, at den naturlige havstigning i nutiden er på mindst

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab. Se mere på aktuelnaturvidenskab.dk

ca. 0,6 mm/år. Jo, længere måleperiode man vælger, desto højere bliver tallet. Denne forskel skyldes især, at kendskabet til havniveau-forandringerne i perioden fra tidlig middelalder til, at man i slutningen af 1800-tallet begyndte at foretage egentlige målinger, stadig er meget usikkert bestemt, hvis man ikke tager hensyn til, hvad gamle strandlinjer kan sige om sagen. Derfor finder IPPC relativt høje værdier for den *menneskeskabte* havniveau-stigning i nutiden.

Så hvad skal man tro? Stiger havet mere nu end før som følge af *menneskeskabt* global opvarmning? For at belyse dette påtrængende problem kræves væsentligt længere tidsserier, end man kan få ved hjælp af vandstandsmålinger og satellitteknologi, dvs. tidsserier både før og efter industrialiseringen i 1800- og 1900-tallet.

Havniveauet gennem det sidste årtusind

Behovet for en årtusind lang tidsserie op mod nutiden bevirkede, at vi besluttede at rekonstruere en havniveau-kurve på basis af de mange velbevarede strandlinjer, der findes fra ca. 1100 til nu på Læsø og på nogle øer syd for Læsø (Langerøn, Færøn, Kringelrøn og Hornfiskrøn). Her findes et "geologisk arkiv", der kan belyse både den globale havniveauændring, den almindelige (isostatiske) landhævning efter istiden og rent lokale bidrag til landhævningen. Dette samspil har bevirket, at der er dannet et stort antal veladskilte og kronologisk velordnede strandlinjer, således at der i dette "Læsø øhav" kan bestemmes langt flere præcise punkter til en havniveau-kurve for de sidste ca.1000 år, end det os bekendt er lykkedes noget andet sted i verden.

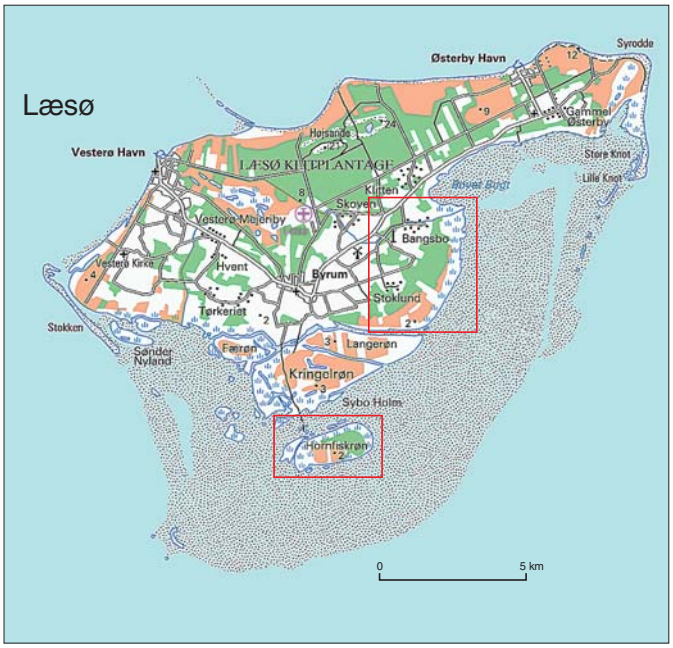
Her finder man ikke alene ca. 2000 kilometer af stadig synlige, lave strandvoldsrygge i ubeboede og uopdyrkede områder, hvor menneskers aktiviteter ikke har ændret terrænhøjderne som følge af f.eks. pløjning, dræning, gravning, byggeri osv. Lige så vigtigt finder man også her usædvanligt gunstige hydrografiske forhold, der indebærer, at Læsø øhavet på globalt plan frembyder enestående muligheder for detaljeret at rekonstruere havniveauet gennem de sidste 1000 år. I modsætning til de fleste andre områder i verden med mange strandlinjer er de pågældende områder stort set fri for tidevand og høje bølger, fordi tidevandet i Kattegat generelt er meget svagt, og fordi Læsøs sydkyster er omkranset af en 3 til 5 km bred, beskyttende sandflade med middelvandstandsdybder på højst 30 cm.

En væsentlig forudsætning for, at vi kunne rekonstruere havniveauet gennem de sidste 1000 år, er dels en nyudviklet dateringsteknik, der gør det muligt med stor præcision at bestemme, hvornår sandkorn er aflejret (se boks). Og dels er det meget præcise opmålinger af Danmark med såkaldt LiDAR-teknologi.

Ved hjælp af disse to teknologiske gennembrud opnåede vi at kunne bestemme de to centrale parametre for en havniveau-kurve for de sidste 1000 år, dvs. 1) de enkelte gamle strandlinjers dannelsestidspunkt og 2) de enkelte gamle strandlinjers præcise højde og højdevariation.

Præcise mål for ændringer af strandlinjer

Som nævnt er både vandstandsmålinger og gamle strandlinjers højde udtryk for et samspil mellem det absolutte (globale) havniveau og terrænbevægelser som følge af processer i undergrunden. Man skal derfor have nøjagtige mål for terrænbevægelserne for at kunne beregne forskydningerne af det absolutte havniveau. Men i modsætning til tidligere undersøgelser har vi vist, at det langt fra er nok kun at korrigere for den almindelige (isostatiske) landhævning efter istiden. Man skal også kunne korrigere præcist for alle terrænbevægelsernes komponenter, inden man kan sige noget sikkert om havniveauet på de pågældende tidspunkter. Ved at inddrage vandstandsmålinger over 120 år i regionen omkring Læsø har vi ved hjælp



Figur 1. Kort over Læsø. Bemærk den 3-5 km brede flade, der omgiver det sydlige Læsø, og hvor vanddybderne er maks. 30 cm ved normal vandstand. De to testområder, Hornfiskrøn and Bangsbo-Stoklund, er vist med rektangler.

Nødvendig ny teknologi

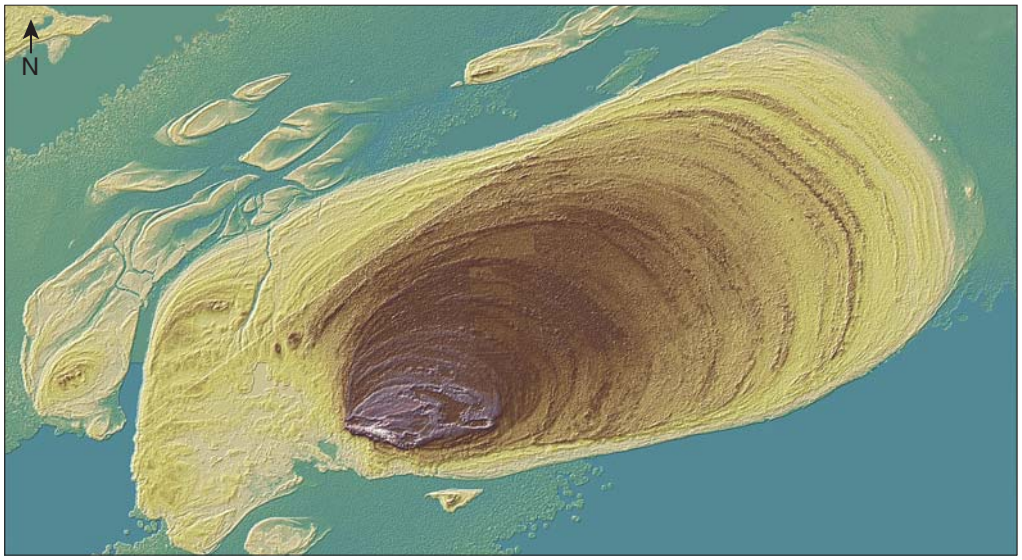
To teknologiske landvindinger har været en væsentlig forudsætning for, at det har været muligt at rekonstruere havniveauet gennem de sidste 1000 år ved undersøgelser af strandlinjer på Læsø som beskrevet i denne artikel.

Datering med Optisk Stimuleret Luminescens

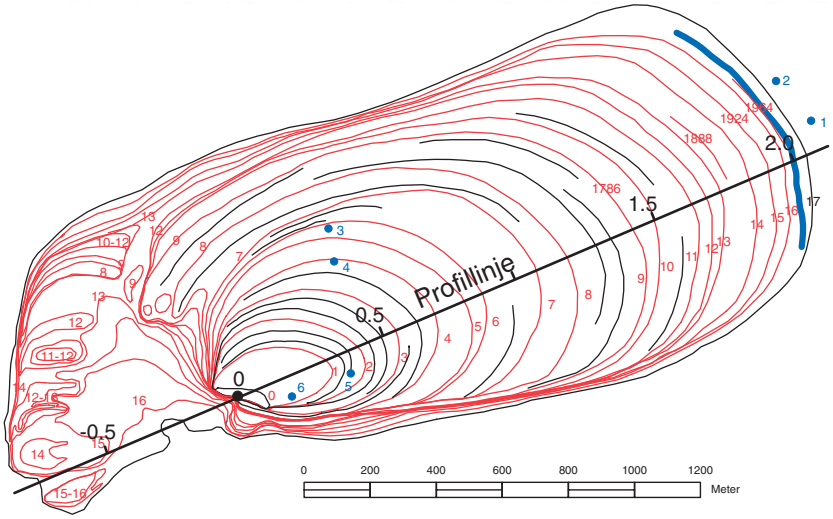
Det ene teknologiske gennembrud er en dateringsteknik kaldet Optisk Stimuleret Luminescens-datering udviklet ved bl.a. Aarhus Universitet og RISØ. Med denne teknik kan man datere, hvornår sandkorn er aflejret. Teknikken bygger på, at der i sandkornenes krystalgitter gradvist opbygges energi pga. baggrundsstrålingen. Når man så tager en prøve af f.eks. en gammel strandlinje og belyser sandkornene med UV-lys, frigøres denne energi i form af en anden stråling (luminescens). Omfanget af denne stråling er proportionalt med, hvor længe sandkornene har ligget i mørke i den pågældende gamle strandlinjes baggrundsstråling. Dermed opnår man en bestemmelse af, hvornår sandet er aflejret.

Måling af terrænhøjder med LiDAR-teknologi

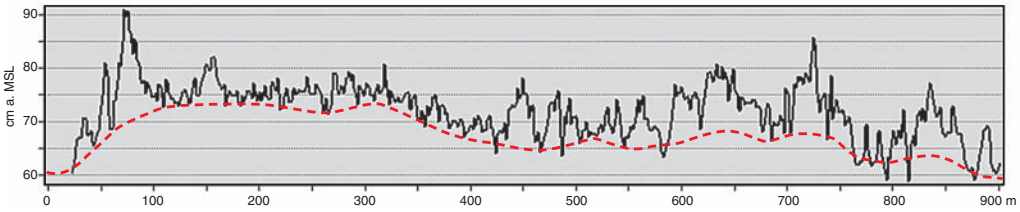
Den anden teknologiske forudsætning er, at en række offentlige myndigheder i 2006 finansierede en kostbar og meget præcis opmåling af Danmarks terrænhøjder ved hjælp af den såkaldte LiDAR-teknologi. Denne teknologi bygger på en flybåren laser-scanning af hele landets overflade, idet man ved hjælp af meget præcise GPS-bestemmelser af flyvehøjden kan bestemme terrænhøjden for hver 3 m^2. Laser-strålerne reflekteres fra alt muligt i landskabet, herunder jordoverfladen som den nederste reflektor. På Læsø har vi fundet, at terrænhøjderne kan bestemmes med en præcision, der globalt er bedre end 4 cm, og lokalt er ca. 1 cm. Derved kan man ikke blot bestemme terrænhøjden i et ekstremt stort antal punkter, lige så vigtigt kan man på rent digital basis "fjerne" vegetationen, f.eks. skove og krat, og derved få et uhyre præcist billede af terrænets detaljerede form.



Figur 2a. Højdemodel af den ubeboede og uopdyrkede ø, Hornfiskrøn. Bemærk øens muslingeskalslignende fordeling af lave, hævede strandvolde. Øens højeste del (hvidt) er et hævet stenrev (Engelskmandens Grav) omkring hvilket øens lave og koncentriske strandvolde er blevet dannet i perioden 1100 til nu. Strandvoldene findes nu i højder på maksimalt 245 cm over nuværende havniveau. Bemærk også, at de enkelte strandvolde er klart adskilte og derved danner en kronologisk velordnet serie af strandlinjer.



Figur 2b. Røde linjer viser beliggenheden af de målte strandvoldsrygge (0 til 17). Sorte linjer viser beliggenheden af kun delvist udviklede strandlinjer. I alt er der målt ca. 200 profiler med en længde på 200-500 m for at finde højderne på de pågældende strandvoldsrygge. De ca. 200 målte gennesnitshøjder er projiceret på en profillinje (fed, sort) og er derefter højdekorrigeret for de enkelte strandlinjers tektoniske påvirkning. Strandlinjens placering i årene 1964, 1924, 1888 og 1786 er angivet og bestemt ud fra gamle geodætiske kort samt Videnskabernes Selskabs kort fra 1786. Blå pletter angiver placeringen af prøver, der er OSL-dateret.



Figur 2c. Eksempel på hvordan strandvoldenes basishøjde (stiplet rød linje) er målt (langs alle linjerne vist på figur 2b) som underkanten af ryggene. Herved kan småklitter undgås ligesom åbenlyse erosionsstrukturer. Det ses, at højden af den pågældende strandvold varierer. Dette skyldes øens tektoniske påvirkning.

af LiDAR-teknologien vist, at det er muligt at korrigere for 5 forskellige faktorer:

1) Hvor højt strandsandet er skyllet op af bølgerne
2) Den lokale effekt af f.eks. pladetektonik, forkastninger, salthorste o.l.
3) Hvor meget området har hævet sig som følge af forudgående erosion (aflastningshævning)
4) Hvor meget området hæver sig som følge af, at istidens is er smeltet (isostasi)
5) Hvor meget området synker pga. belastning af underliggende aflejringer (kompaktion)

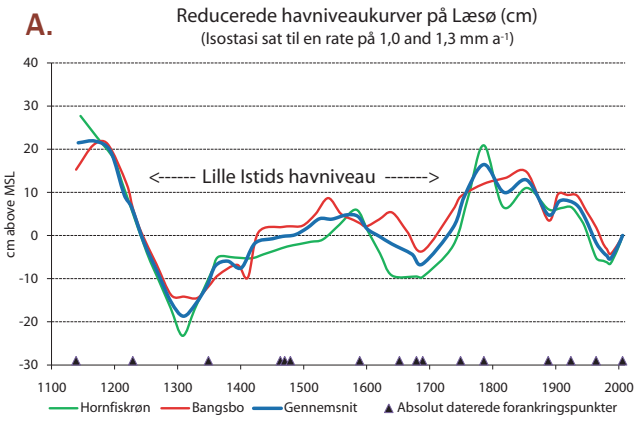
Imidlertid er langt den overvejende del af hidtidige undersøgelser kun korrigeret for opskylzonens højde (punkt 1) og isostasien (punkt 4). Først i de seneste år har man kompenseret for eventuel kompaktion (punkt 5). Derimod er der kun enkelte forsøg på at korrigere for (små) tektoniske bevægelser (punkt 2) og os bekendt ingen forsøg på at korrigere for aflastningshævning efter forudgående erosionsfaser (punkt 3). Således forudsætter langt de fleste undersøgelser af de seneste årtusinders ændringer af havniveauet, at de undersøgte områder er tektonisk stabile. Men selv de små rater af geologisk "støj", der findes langs passive kontinentalrande som f.eks. i Nordvesteuropa og Nordøstamerika, kan forvride havniveaurekonstruktioner af de senere århundreder ganske betydeligt.

Da gamle strandlinjer typisk kun kan erkendes i områder, der er udsat for væsentlig landhævning, vil mangelfulde korrektioner for landhævningens enkelte komponenter medføre, at den fortidige havstigning synes væsentligt svagere end den faktisk har været, og at den nutidige (målte) havstigning derfor synes væsentligt kraftigere og mere usædvanlig, end den er.

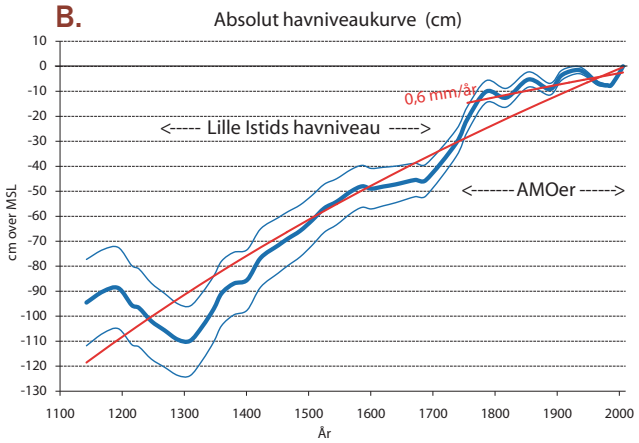
Hvad viser Læsø-kurven?

Det vil føre for vidt her at redegøre for, hvordan vi har foretaget de nævnte korrektioner. Blot

Læsø-kurven



De to testområders relative havniveau-kurver reduceret (back-stripped) for lokal tektonisk opbulning og vipning af de to områders gamle strandlinjer. MSL = Mean sea level dvs. middelvandstanden i havet.



Resulterende absolut ('eustatisk') kurve gennem de sidste ca. 900 år. Kurven er opnået ved reduktion af gennemsnitkurven på fig. A med summen for regional landhævning (2,31 mm/år) samt reduktion med den isostatiske landhævnings generelle deceleration (0,000213 mm/år^2).

I forhold til en global forståelse af Læsø-kurven (B) er værd at notere sig:

1) den naturlige (dvs. ikke menneskeskabte) vandstandsstigning som følge af afsmeltning og oceanernes opvarmning efter sidste istid fortsat er væsentlig, selvom den er aftaget siden 1300 fra 1,6 mm/år til ca. 0,6 mm/år efter 1750 ('residual-stigningen' = røde kurver i figuren til højre (B)),

2) den naturlige vandstandstigning efter sidste istid er overlejret af en række mere kortvarige svingninger, hvoraf den lave vandstand under Lille Istid og fire svingninger efter 1750 er de vigtigste,

3) den relativt høje vandstand under Middelalderens klimaoptimum begyndte at falde omkring 1200, dvs. ved begyndelsen af den 'Lille Istid',

4) i forhold til den naturlige residual-stigning som følge af oceanernes varmeudvidelse efter istiden (røde kurver) indtraf Lille Istids laveste vandstande mellem 1250 og 1750 med særligt dybe minima (op til -45 cm) omkring 1300 og 1700 og et mindre lokalt maksimum omkring 1585,

5) efter Lille Istid forekommer fire såkaldte 'Atlantiske Multidecadale Oscillationer' (AMO'er) med toppe med ca. 70 års mellemrum, dvs. omkring 1790, 1860, 1920-50 og i nutiden. Disse fire oscillationer er mindre på den anden side af Atlanten, og de skyldes derfor sandsynligvis klimatiske vejr- og vindændringer på den nordlige halvkugle,

6) i forhold til den naturlige residual-stigning som følge af oceanernes varmeudvidelse efter istiden (røde kurver) er den havstigning, som satellitmålinger gennem de sidste 10-20 år tyder på, af samme størrelse (2,6 til 2,7 mm/år) som havstigningen ved Lille Istids ophør (1700-1790),

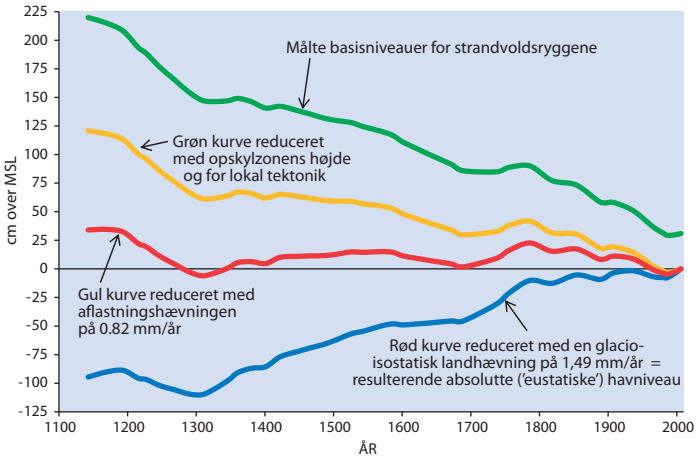
7) havniveau-faldet ved Lille Istids begyndelse er væsentligt hastigere (3,9-4,0 mm/år) end det sidste årtusindes havniveau-stigninger (når der kompenseres for residual-stigningen), og dette bekræfter resultater fra iskerneundersøgelserne om, at iskapper kan opbygges væsentligt hurtigere, end de kan smelte.

vil vi som eksempel nævne, at LiDAR-højdemodellen viser, at de gamle strandlinjer ikke mere ligger vandret, som da de blev aflejret (havoverfladen er vandret), men at de alle i et af undersøgelsesområderne hælder op til 70 cm mod nordøst, og at de i et andet undersøgelsesområde er trykket op i en svag bule på ca. 3 km^2, og at denne deformation har forøget strandlinjernes højde med op til 95 cm. Vi har derpå ført de gamle strandlinjers nuværende højde tilbage til vandret som da de blev aflejret, og derved bestemt hvilken højde de "burde" ligge i, hvis der ikke havde været lokale bevægelser i undergrunden.

Ved at korrigere for alle de nævnte faktorer har vi vist, at det absolutte (globale) havniveau i østlige Nordsø til centrale Østersø er steget 110 +/-14 cm siden 1300, og at Lille Istids lave vandstand optrådte mellem 1250 og 1750 med et relativt havniveaufald på op til 40 cm fra 1200 til 1300 og en tilsvarende relativ stigning fra 1700 til 1790. Efter Lille Istids relativt lave havniveau slog de såkaldte Atlantiske Multidecadale Oscillationer (AMO'er) stærkere igennem end i den forudgående periode. Disse oscillationer har en cyklicitet på ca. 70 år med toppe omkring 1790, 1860, 1920-50 og i nutiden.

Havniveauet i fremtiden

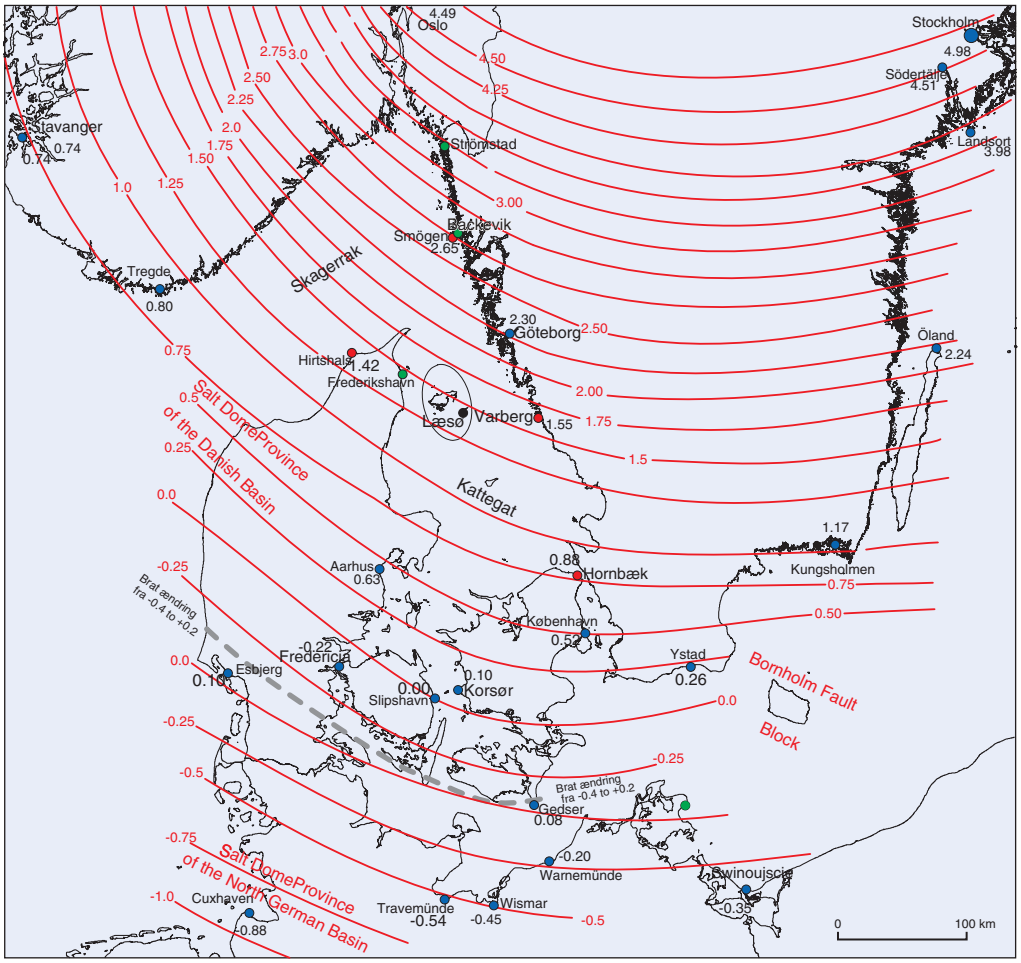
Overordnet er min konklusionen, at oceanernes vandstand forsat er stigende på grund af varmeudvidelse, selv om sidste istid sluttede for 12-15.000 år siden. De mest dramatiske fremskrivninger af havstigningen kompenserer for denne naturlige effekt af den stærkt forsinkede opvarmning af oceanernes dybere dele med alt for små værdier, hvorved den menneskeskabte havstigning i nutiden fremstår væsentligt mere dramatisk, end den faktisk er. Derimod viser de relativt store vandstandsændringer under Lille Istid (1200-1790), at både opbygning og smeltning af iskalotter vil have umiddelbar effekt på havniveauet, og at maksimalraterne herfor (renset for opvarmnings-effekt) har været hhv. -4,0



Principper og procedure for korrektioner af målte strandlinje-niveauer for at komme frem til en absolut ("eustatisk") havniveau-kurve.

Foto: Lasse Gudmundsson

Parti af "Engelskmandens Grav" dvs. Hornfiskrøns ældste og højeste del, der består af et 300 m langt og 100 m bredt hævet stenrev. Toppen af de største sten ligger i kote ca. 3 m. Omkring dette stenrev er Hornfiskrøn dannet som en lav strandvoldsslette i perioden 1100 til nu i nuværende højder fra 220 til 30 cm over havet.



- 4 vandstandsmålinger (Hirtshals, Smögen, Varberg og Hornbæk), der tilsammen har geografisk centrum ved Læsø (sort plet), og som er anvendt til beregning af Læsø samlede hævningsrate.
- 22 andre pålidelige langtidsmålinger, hvoraf de langt fleste afviger mindre end 0.1 mm/år fra kurvebilledet.
- 3 uanvendelige måleserier, idet de pågældede stationer udviser meget betydelige anomalier (0.8 – 1.5 mm/år).
- Ringkøbing-Fyn højderyggens sydlige kant.

Størrelsen af nutidens fortsatte landhævning efter istiden (glacio-isostatiske hævninsrater)(mm/år): Kortet er fremstillet ved at anvende den fundne absolutte havniveau-kurve som standard for en beregning af de isostatiske hævningsrater for 29 langtids havniveau-målinger i den >500.000 km^2 store region mellem Cuxhaven (NV-Tyskland), Stavanger (SV-Norge), Stockholm (Ø-Sverige) og Swinoujscie (NV-Polen). Den geologiske struktur *Ringkøbing-Fyn højderyggen* ses også på hævningsraterne. Kortet adskiller sig fra ældre kort ved at indeholde to 0-linjer ("vippeakser"), idet er udover den velkendte akse fra Ringkøbing til Fakse også er identificeret en vippeakse, der følger linjen Fanø-Sønderborg-Gedser.

mm/år (ved Lille Istids begyndelse) og +2,7 mm/år (både ved Lille Istids afslutning og i de sidste 10-20 år).

Den relativt store vandstandsændring, der er målt i det nordatlantiske område siden 1993, kan imidlertid sagtens rummes inden for de naturlige udsving og den generelle havstigning, som Læsøkurven dokumenterer for de sidste 250 år. Foretager man en fremskrivning for udviklingen i det nordatlantiske havniveau baseret på Læsøkurven, vil den pege på, at den nuværende havniveau-stigning vil kulminere i løbet af de næste 10 år og nå et nyt minimum omkring 2040-50. Derefter vil en fremskrivning pege på en ny stigning med kulmination omkring 2070-2100. Disse fremskrevne svingninger med udsving på op til 10 cm vil endvidere være overlejret af en generel, naturlig havstigning maksimalt på i størrelsesordenen 0,6 til 1,0 mm/år, svarende til 6 til 10 cm pr. århundrede.

I forhold til havniveauændringer her i landet vil den almindelige landhævning efter istiden (-0,9 mm/år i det sydligste Vadehav til +1,8 mm/år ved Skagen) være mere væsentlige i hovedparten af landet og indebære, at generelt stigende havniveauer kun vil forekomme sydvest for linjen Hanstholm-Grenå-Helsingør og være størst i det sydligste Vadehav, hvor den isostatiske indsynkning er størst. En fremskrivning af Læsøkurven og regionens isostatiske bevægelsesmønstre vil pege på en relativ havstigning på højst 20 cm pr. århundrede (+/-10 cm) sydvest for den nævnte linje.

Effekten af ændrede vindmønstre som følge af de natur-

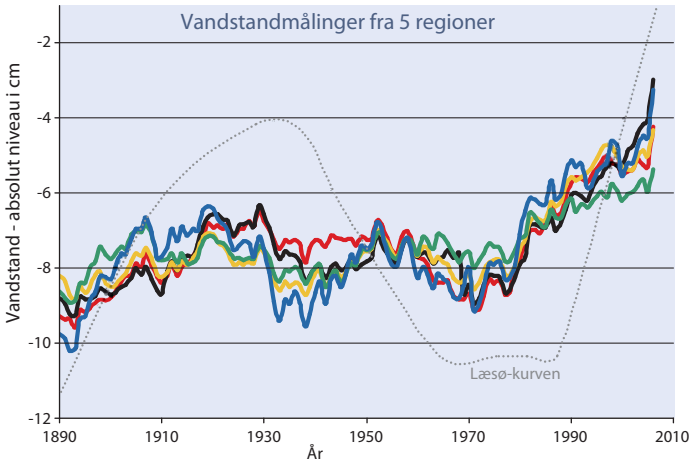
ligt forekommende atlantiske svingningers (AMO'erne) vindstuvning langs Vestkysten og i Kattegat (kulminerende nu og omkring 2070-2100) vil sandsynligvis være af væsentlig større betydning for kystprocesserne.

Korte måleperioder giver usikre prognoser

Klimaforskernes mest dramatiske fremskrivninger bygger på havniveau-målinger fra satellit gennem de sidste 10-20 år og på isafsmeltning målt gennem tilsvarende korte perioder fra satellit. Tager man disse målinger over relativt få år som udtryk for en mere langvarig udvikling, og kompenserer man ikke for den naturlige havstigning og cykliske svingninger over 70 år, tyder disse korte måleserier på, at vi vil opleve en gennemsnitlig global havstigning på mindst 3,5 mm/år eller 35 cm pr. århundrede. Da nogle klimaforskere desuden mener at kunne se en acceleration af havstigningen over de sidste ca. 10 år, kommer man frem til endnu større havstigninger, dvs. i meter-skalaen.

Problemet er imidlertid, at så korte måleperioder ikke kan give et pålideligt billede af langtidseffekterne. Det ses bl.a. af de mange vandstandsmålinger over 70-150 år, der er foretaget i og omkring Danmark. Regionen mellem Cuxhaven (NV Tyskland), Stavanger, Stockholm og Swinoujscie (NV Polen) rummer således verdens højeste koncentration af vandstandsmålinger over lang tid. Her ses bl.a. 10 gange så store variationer af årsgennemsnittene som af gennemsnit over 19 år. Og selv disse 19 års gennemsnit (der fjerner de største uregelmæssigheder som følge af tidevand og storme) varierer med en faktor 2-3 inden for blot dobbelt så lange tidsrum. Derfor er det forbundet med meget store usikkerheder at sige noget om fremtiden på basis af måleserier, der strækker sig over mindre end 70 år. Det er derfor i strid med statistikkens grundregler at tale om en accelereret havstigning på basis af højst 30 års satellitmålinger. Variationer som følge af almindeligt forekommende høj- og lavvande inden for så korte tidsrum "overdøver" helt de reelle langtidseffekter af den atmosfæriske opvarmning. Forudsigelserne er snarere direkte fejlagtige, hvis man (som alt tyder på) befinder sig i en periode med en naturlig havstigning som følge af de cykliske variationer over 70 år.

Derimod kan man med betydelig større sikkerhed sige, at de største effekter af den atmosfæriske opvarmning i løbet af dette århundrede ikke vil være en menneskeskabt havstigning, men lokale effekter af ændrede vindretninger og højere vindhastigheder på særligt udsatte kyststrækninger og lavtliggende områder. ■



Vandstand i området fra østlige Nordsø til central Østersø efter isostatisk korrektion af områdets 29 langtidsmålinger. Kurverne viser gennemsnitskurven (midlet over 19 år) for de 5 regioners vandstandmålinger. Man ser, at den Atlantiske Multidecadale Oscillation i perioden 1920-50 er dobbel-toppet, og at en generel havniveau-stigning begynder i 1971.

Havets varmeudvidelse

Et stort antal undersøgelser af gamle strandlinjer viser, at havniveauet overalt i verden er steget betydeligt siden sidste istid.

Lige efter istidens slutning skyldtes det meste af den globale havstigning, at indlandsisen gradvist smeltede bort i både Nordamerika og i Skandinavien. Men stigningen fortsatte, også efter 6.000 år før nu, hvor den sidste is var smeltet i de nedise områder. Også denne almindelige havstigning efter 6.000 år før nu er veldokumenteret i mange undersøgelser af gamle strandlinjer overalt i verden. Havstigningen efter 6.000 før nu kan derfor ikke primært skyldes smeltning af is, men først og fremmest at vandet i oceanernes dybere dele kun ekstremt langsomt opvarmes efter istidens 100.000 år lange kuldeperiode og altså fortsat udvider sig som følge af den atmosfæriske opvarmning, der begyndte for 12-15.000 år siden.

IPCC's modelberegninger viser entydigt, at efterhånden som den atmosfæriske varme trænger ned i oceanerne vil vandet udvide sig som følge af vands almindelige varmeudvidelseskoefficient, men spørgsmålet er, hvor meget den menneskeskabte opvarmning af atmosfæren betyder for havniveauet? Man ved nu, at omløbstiden for de øvre vandmasser er ca. 10 år, mens omløbstiden for oceanernes dybe dele er i mindst 1.000 år. Derfor sker der kun en meget ringe opblanding af dybe og overfladiske vandmasser, og varmen vil være ekstremt længe om at trænge ned til større dybder end 1 km, hvorunder langt det meste vand befinder sig. Oceanernes dybe vandmasser er fortsat meget kolde (2-5 grader gennemsnit) trods mere end 10.000 års varmt klima.

Om forfatteren

Jens Morten Hansen er statsgeolog ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS).
jmh@geus.dk

Videre læsning

Hansen, J.M., Aagaard, T. & Binderup, M. 2011: Absolute sea levels and isostatic changes of the eastern North Sea to Central Baltic region during the last 900 years. Boreas DOI 10.1111/j.1502-3885.2011.00229.x Published online: 3 OCT 2011.

Kan evt. hentes via http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1502-3885