

# Nutidige ændringer i middelvandstand

CHRISTIAN CHRISTIANSEN



Christiansen, C.: Nutidige ændringer i middelvandstand. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1984*, side 15–20, København, 28. februar 1985.

Recent sea level variations in Denmark (storm surges, mean monthly and mean annual) and some of their possible consequences are discussed. It is suggested from recent variations, that Holocene sea level history and its consequence might be much more complicated than hitherto known.

Christian Christiansen, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 8000 Århus C, 19. september 1984.

Vores kendskab til den holocæne marine transgression, dens regionale forskelle og konsekvenser bliver efterhånden bedre og bedre. (Se f.eks. Petersen (1977 & 1979), Christensen (1981) og Jacobsen (1981)). Efterhånden er tiden måske inde til at forbedre dette kendskab ved også at inddrage kendskabet til mere kortvarige vandstandsfluktuationer. Mange forskningsprojekter i nuværende og tidligere kystmiljøer er udført under antagelser af, at et næsten statisk havniveau har eksisteret i de foregående 1–100 år. Det er en forkert antagelse uanset den anvendte tidsskala.

## Aperiodiske ændringer

På fig. 1 er angivet bl.a. vandstandsmålinger fra Knebel Vig under stormflodssituationen i begyndelsen af januar 1976. Til sammenligning er endvidere angivet den del af vandstandsændringerne, der kan tilskrives tidevandet. Det ses, at de meteorologisk betingede ændringer langt overgår tidevandet. Ændringerne kan på den jyske østkyst ligge mellem 140 cm over DNN og 120 cm under DNN. Selv om kysten er østvendt, giver vinde med en østlig komponent lave vandstande, medens vinde med en vestlig komponent giver høje vandstande. Østenvinde presser vand ud af Kattetag, medens vestenvinde presser vand ind.

De meteorologiske data, som er angivet på figuren gælder for Fornæs. Sammenhængen mellem disse data og vandstandskurven er ved første øjekast ikke umiddelbar. Da havet virker som »et omvendt barometer«, skulle et trykfald på 1 mb give en øgning i vandstanden på 1 cm. Denne sammenhæng overskygges dog af vindens virkning.

Vinddata sammenholdt med vandstandskurven viser, at det ikke er de lokale vindforhold, der bestemmer vandstandsvariationen. Der er en stor forsinkelse mellem vind og vandstand. Dette hænger sammen med, at det er det regionale

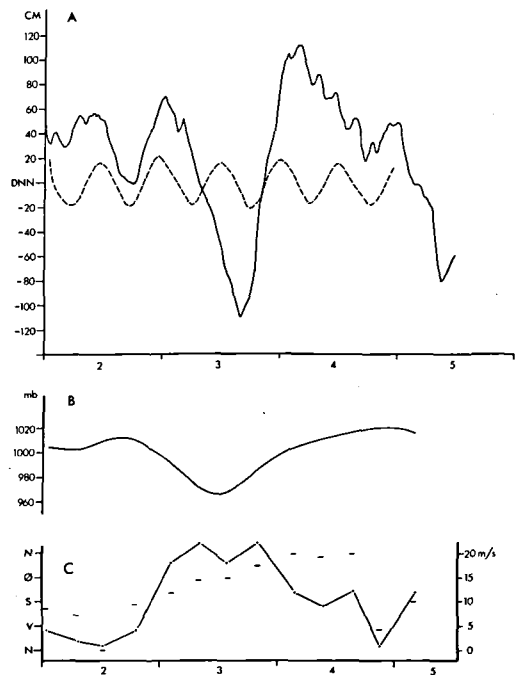


Fig. 1. A) Vandstandsobservationer, Knebel Vig, 2–5/1 1976. Med stiplede linie er angivet tidevandets bidrag til observationerne. B) Lufttryksvariationen. C) Vindretning (stiplet) og vindhastighed.

A) Observations of sea level at Knebel Vig 2–5/1 1976. The hatched curve shows the predicted tidal curve. B) Variation in atmospheric pressure. C) Winddirection (hatched) and velocity.

vindsystem over Nordsøen–Kattegat–Østersøen, der er afgørende i denne forbindelse. Ved Als Odde, Mariager Fjord, får man f.eks. den bedste sammenhæng, hvis man bruger lokale vinddata, der er 6 timer »gamle«.

Som man måske husker kulminerede stormfloden i det sydvestjyske vadehav kl. ca. 14.00 den 3.1.1976. Ved Als Odde skete kulminationen ca. kl. 22.00. Her i Knebel Vig topper kurven først den 4.1.1976 kl. 04.00. (I Århus skete det kl. 03.00). Det vil sige, at den maksimale vandstand har forplantet sig som en bølge ned langs den jyske østkyst. Meget ofte er fremrykningshastigheden lig med tidevandets.

Kikker man nøjere på vandstandsvariationerne den 4.1.1976 vil det ses, at der er en række »toppe«, der rager op ca. hver fjerde time. Disse »skvulp«, der optræder medens vandstanden ellers generelt er faldende, er seicher. Bevægelsen er meget lig den, man kan fremkalde i et badekar ved at føre hånden frem og tilbage. Den fremkaldte bølge rammer karrets ende og bliver kastet tilbage. Hvis den takt, man bevæger hånden med, har resonans med karrets egensvingningsperiode, vil vandet skvulpe frem og tilbage, selv om hånden tages op. Seicher optræder hyppigst på østkysten, når en fra nord opstuvet vandmasse begynder at løbe tilbage. Dens periode  $T$  kan udtrykkes som

$$T = 4L/(gh)^{1/2}$$

hvor  $L$  = bassinets længde

$g$  = tyngdeacceleration

$h$  = dybde.

Af formelen ses, at det er bassinets længde og dybde, der afgør om seicher opstår. Aperiodiske vandstandsændringer kan altså fremkalde periodiske ændringer.

#### Konsekvenser

I en undersøgelse over kystændringerne ved Glatved Kalkbrud viste Bird & Christiansen (1982) en kystfremrykning på op til 220 m fra 1877 til 1976. Fig. 2 viser et tværprofil gennem den aflejrede strandvoldslette med angivelse af kystliniens placering i en række år. Toppen af disse strandvolde ville efter Mertz (1924) kunne karakteriseres som »øverste tanglinie«. Det fremgår derfor af figuren, at de varierende vand-

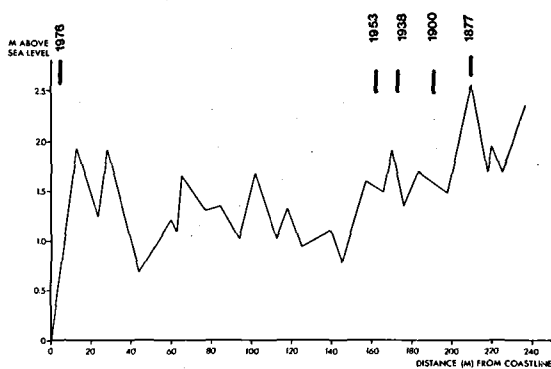


Fig. 2. Strandvoldstopografi ved Glatved Kalkbrud.

Topography of beach ridge plain at Glatved Chalk Quarry.

stands- og bølgepåvirkninger kan ændre referenceniveauet »øverste tanglinie« med omkring 1 m i denne 100 års periode. Det er altså slet ikke uden betydning i hvilket år en eventuelt hævet Tapes/Littorina aflejring relateres til nuværende havniveau. I denne forbindelse er det også værd at huske, den betydning det nuværende kystprofil har for bølgeopløbet. Fig. 3 viser således bølgeopløbet på en skrå flade som funktion af fladens hældning. En ændring i profilet hældning fra  $2^\circ$  til  $5^\circ$  kan således medføre en øgning i bølgeopløbet fra 0.5 m til 1.6 m. Bemærk også at to lige

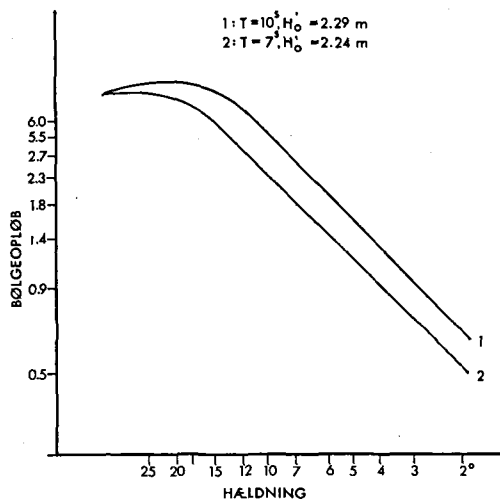


Fig. 3. Bølgeopløb på skrå flade som funktion af fladens hældning og bølgerens periode.

Wave run-up as a function of slope and wave period.

høje bølger på dybt vand men med forskellig periode vil have helt forskellige bølgeopløb og dermed give hver deres »højeste tanglinie«.

Af andre konsekvenser af de aperiodiske ændringer i middelvandstand skal her kun kort nævnes kysterosion (se herom senere) samt sedimenttransport fra lavtvandsområder til mere dybt vand (Christiansen et al., 1981 og Christiansen & Lomholt, 1985).

#### Den årlige variation

Figur 4 viser, at der er en årlig variation i middelvandstand. Middelvandstanden er lav om foråret og høj om efteråret. Herved opfører middelvandstanden ved Als Odde sig på en måde, som er karakteristisk for det nordlige Atlanterhav og nordlige Stillehav. I de sydlige oceaner findes oftest en modsat gang, d.v.s. høj vandstand om foråret og lav vandstand om efteråret. Årsagerne hertil er komplekse og langt fra klarlagt i detaljer. Ved en sammenligning af danske vandstandsstationer viser det sig f.eks., at de alle har minimum i marts, april eller maj. Stationerne på øerne har maksimum i august, stationer på den jyske østkyst i oktober, og Esbjergs maksimum nås almindeligvis først i december.

Da der ikke er foretaget undersøgelse af årsagen til den sæsonmæssige svingning i middelvandstand for danske vandstandsstationer, vil der i det følgende blive fremhævet en række muligheder. Ændringer i atmosfærisk tryk vides på globalt plan at kunne være ansvarlig for variationer på op til  $\pm 10$  cm. Skønsmæssigt kan denne faktor i Danmark nok forklare  $\pm 4$  cm. Nært knyttet til denne faktor er vindforholdene, hvor jo vind fra østlige retninger, som er hyppige om foråret, giver lave vandstande. Om efteråret dominerer de vestlige vinde og giver høje vandstande. Som-

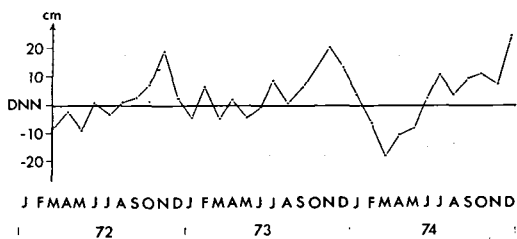


Fig. 4. Sæsonmæssige ændringer i månedsmiddelvandstand 1972-1974, Als Odde.

Mean monthly sea level from 1972 to 1974 for Als Odde.

meropvarmningen af havoverfladen forplantes i løbet af august-oktober til de dybere vandmasser. Holdes massen konstant, må vandet udvide sig og give høje middelvandstande på denne årstid. Det modsatte vil være tilfældet om foråret. På globalt plan kan denne effekt betyde  $\pm 10$  cm. Stadig med massen holdt konstant vil et fald i saltholdighed give høje vandstande og en stigning i saltholdighed medføre lave vandstande. Som en sidste faktor vil jeg nævne ændring i volumen. Ifølge hollandske undersøgelser (Lisitzin, 1963) sker den maksimale tilbageholdelse af vand på den faste jord i marts og april og den minimale i september og oktober. Der er store usikkerheder i disse angivelser, men effekten ville i givet fald kunne være vandstandsændringer på  $\pm 3$  cm.

#### Konsekvenser

Christiansen & Møller (1983) viste, at de sæsonmæssige ændringer i vandstand i Mariager Fjord medførte specielt gode vilkår for udbredelsen af vadegræsset *Spartina*. Den kræver perioder om foråret med lav vandstand, der bevirker dels, at frøet får den nødvendige ferskvandstilførsel for at blive spiringsdygtigt, dels at frøet får en periode uden bølgepåvirkning, så det kan nå at blive forankret i sandet. Denne udbredelse af *Spartina* har så medført ændringer i de sedimentologiske forhold. Christiansen & Miller (1983) viste, at der i takt med *Spartina*'ens udbredelse fra 1959 og til i dag sker en sedimentation. Denne er i størrelsesordenen  $+10$  cm fra 1969 til 1978. Sedimentationen hænger sammen med, dels at *Spartina* tuer opfanger sediment, dels at *Spartina* udbredelsen giver læ og bevirker roligere strøm og bølgeforhold. Der er således en aftagen i *Spartina*'ens indvirkning på sediment-parametre jo længere borte sedimentet befinder sig fra *Spartina*en.

Nu kan man naturligvis ikke udelukke, at den »fining-upward« sekvens, som man kan iagttage i de aflejrede 10 cm, kunne skyldes den samtidigt stigende årlige middelvandstand (se f.eks. Reineck, 1967). Men en stigning i middelvandstand på ca. 1 cm skulle vel ikke kunne medføre en sedimentation på 10 cm?

#### Langtidsændringer

Det referenceniveau, man almindeligvis bruger ved angivelse af vandstande (og højder på land),

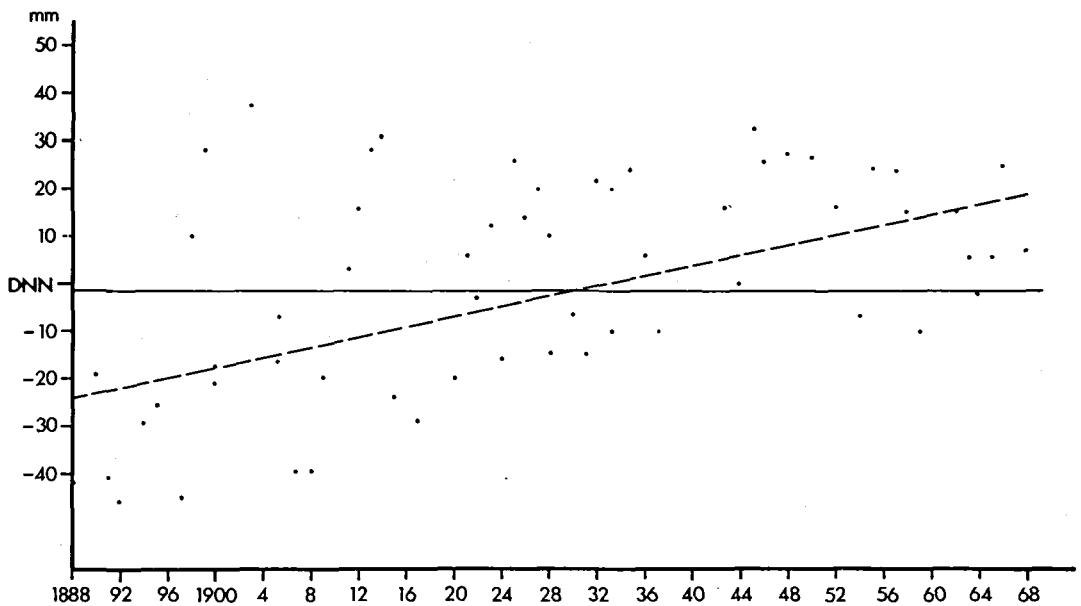


Fig. 5. Årlige ændringer i middelvandstand, Århus, 1888-1968.

Mean annual sea level from 1888 to 1968 for Århus. (After: Hansen & Thomsen, 1970).

er DNN = Dansk Normal Nul. DNN er defineret ud fra gennemsnittet af vandstandsobservationerne fra 10 danske havne fra ca. 1900 til 1930. Ved en lokalitets dagligvande forstår man gennemsnittet af vandstanden for en lang årrække på stedet. Nu kan man af fig. 5 se for det første, at DNN og daglig vande ikke er det samme. For det andet kan man se, at der sker en stigning i de årlige middelvandstande, selv om der er stor spredning i de enkelte årsmidler. Hvis man forudsætter, at vandstandens nulniveau ændrer sig proportionalt med tiden, kan den stiplede linie på fig. 5 forlænges. Herved når man for 1982 frem til 2,6 cm over DNN. Dette niveau kaldes Normal Vandstand eller forbedret daglig vande. Det tilsvarende niveau er for Fredericia 8,1 cm over DNN og for Frederikshavn 1,5 cm under DNN. Normal Vandstand stiger mest ved Fredericia (1,08 mm/år) og mindst ved Frederikshavn (0,29 mm/år). Ved Hirtshals falder Normal Vandstand (0,39 mm/år). Der er altså en ændring i tendensen, når man går fra syd mod nord.

Årsagerne hertil kan være enten isostasi eller eustasi eller, og nok mest sandsynligt en kombination af begge. Der har været en generel stigning i vandstand bl.a. på grund af smeltning af kontinentalis på de høje breddegrader. Denne

generelle eustatiske vandstandsændring opgives fra flere steder til godt 1 mm/år. Eustatiske ændringer kan også være betinget af langvarige ændringer i havvandets vægtfylde, barometertryk, vindstuvning o.lign. Man ved dog fra en undersøgelse af vandstandene ved Esbjerg, at disse forhold kun spiller en ringe rolle.

De eustatiske ændringer modificeres af den regionale tendens i den isostatiske landhævning siden sidste istid. Denne landhævning er størst i Nordjylland og derfor får vi en faldende stigningstakt i vandstand fra syd mod nord langs østkysten og et direkte fald ved Hirtshals.

#### Konsekvenser

I de senere år er den offentlige opmærksomhed blevet rettet mod kysttilbagerykningen flere steder i Danmark, som f.eks. Lønstrup Klint og Anholt. Fig. 6 viser da også, at i de sidste 100 år har kysttilbagerykningen i Danmark været mere udbredt end kystfremrykning (omkring 450 km langs kysten er rykket tilbage, medens små 200 km kyststrækning er rykket frem).

Bruun (1962) foreslog, at den verdensomspændende stigning i vandstand kunne være ansvarlig for den generelle kysterosion, idet bølgerne her-

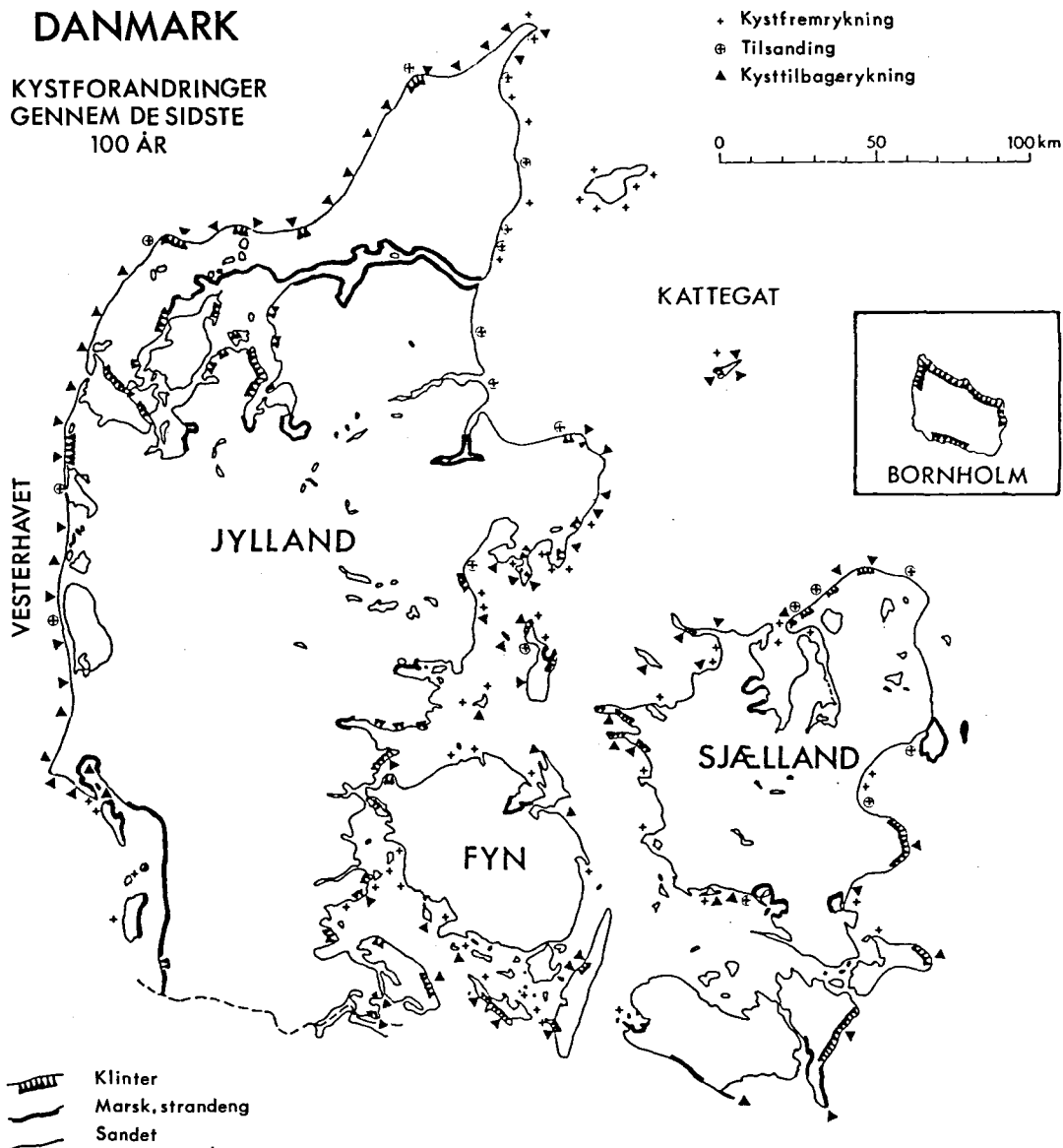


Fig. 6. Kystændringer i Danmark i de sidste 100 år.

Coastal changes in Denmark during the past 100 years.

ved får nye angrebepunkter. Med basis i 10 års målinger viste Christiansen & Møller (1980) dog, at det var de aperiodiske stormflodssituationer, der betød mest for kysttilbagerykningen ved Klim. Tilbagerykningen ændrede i årene 1968 til 1978 52 m langs en 850 m strækning af kysten. Heraf var »stormflodsårene« 1971 og 1976 ansvarlige for 24 m. Kysterrosionen ved Klim fortsætter. Således viser fig. 7a, at tilbagerykningen

fra 1977 til 1984 på et repræsentativt profil har været 32 m. Til gengæld viser fig. 7b, at uden for forsøgsfeltet i Klim i et kontrolområde kun 500 m mod vest, som sjældnere opmåles, sker der kun meget ringere ændringer med kystlinien. Til gengæld opbygges bagstranden med strandvolde og klitter. Vi forstår altså ikke til fulde de varierende vandstandes betydning for kystudviklingen.

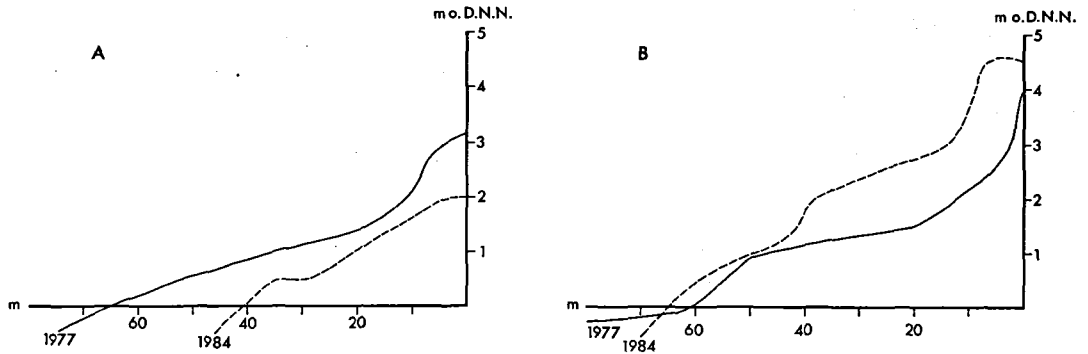


Fig. 7. A) Kystændringer på udvalgt profil fra Klim, 1977-1984. B) Kystændringer på et profil 500 m vest for Klimprofilet.

A) Changes in coast-profile at Klim, 1977-1984. B) Changes in coast-profile 500 m to the west of the profile in Fig. 7A.

### Afslutning

Jeg har i denne artikel kun medtaget eksempler som ligger mit eget felt nærmest. Jeg er dog sikker på, at læseren selv kan supplere med flere, som for eksempel (også fra mit eget område): Hvordan har de sidste 80 års (eller andre intervaller) stigning i middelvandstand modificeret cirkulation, næringstilførsel, turbiditet og o.s.v. i kystmiljøet? Det har i hvert fald medført en ændring i tidevandet (Lundbak, 1947). Hvilken betydning har de svingende vandstande og dermed ændrede tryk på bunden for bundvendingsproblematikken?, for porevandskemien?, for den tidlige diagenese? Med disse nutidige ændringer in mente er der nok ingen tvivl om, at den holocæne vandspejlsudvikling har været langt mere kompliceret end vi normalt forestiller os, se også f.eks. Hansen & Håkansson (1979), Hansen (1977) og Hansen (1979).

### Tak

Professor G. Larsen takkes for kritisk gennemgang af manuskriptet.

### Litteratur

- Bird, E. C. F. & Christiansen, C. 1982: Coastal progradation as a by-product of human activity: an example from Hoed, Denmark. *Geografisk Tidsskrift*. 82, 1-4.
- Bruun, P. 1962: Sea level rise as a cause of shore erosion. *Proc. Amer. Soc. Civ. Engs.* 88, 117-130.
- Christensen, C. 1981: Havniveauændringer 5500-2500 f.Kr. i Vedbækområdet, NØ-Sjælland. *Dansk Geol. Foren., Årsskrift for 1981*, 91-107.

- Christiansen, C., Christoffersen, H. & Schultz, K. E. 1981: Hydrography, sediments and sedimentation in a low-energy embayment, Knebel Vig, Denmark. *Geogr. Ann.* 63A, 95-103.
- Christiansen, C. & Lomholt, S. 1985: Recent depositional conditions in Egens Vig, Denmark. *Geografisk Tidsskrift*. 85, xx-xx.
- Christiansen, C. & Miller, P. F. 1983: Spartina in Mariager Fjord, Denmark: The effect on sediment parameters. *Earth Surface Processes and Landforms*. 8, 55-62.
- Christiansen, C. & Møller, J. T. 1980: Beach erosion at Klim, Denmark. A ten-year record. *Coastal Engineering*. 3, 283-296.
- Christiansen, C. & Møller, J. T. 1983: Rates of establishment and seasonal immersion of Spartina in Mariager Fjord, Denmark. *Holarctic Ecology*. 6, 315-319.
- Hansen, J. M. 1977: Sedimentary history of the island Læsø, Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark*. 26, 217-236.
- Hansen, J. M. 1979: Læsøs postglaciale udvikling i relation til den Fennoskandiske randzone. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979*, 23-30.
- Hansen, J. M. & Håkansson, E. 1979: Thistedstrukturens geologi - et »neotektonisk« skoleeksempel. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979*, 1-9.
- Jacobsen, E. M., 1981: Littorinatransgressioner i Trundholm Mose, NV-Sjælland, en foreløbig undersøgelse. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1981*, 109-117.
- Lisitzin, E. 1963: Mean sea level. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1, 25-45.
- Mertz, E. 1924: Oversigt over de sen- og postglaciale niveauforandringer i Danmark. *Dann. geol. Unders.* II Rk. 41: 49 pp.
- Petersen, K. S., 1976: Om Limfjordens postglaciale marine udvikling og niveauforhold, belyst ved molluskfaunaen og C-14 dateringer. *Dann. geol. Unders. Årbog 1975*, 75-103.
- Petersen, K. S., 1979: Den holocæne marine transgression og molluskfaunaen i Hanherred - belyst ud fra en boring ved Vust. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979*, 15-17.
- Reineck, H. E. 1967: Layered sediments of tidal flats, beaches and shelf bottoms of the North Sea. In: Lauff, G. D. (ed.). *Estuaries. Am. Assoc. Adv. Sci.* 191-206.
- Thomsen, H. & Hansen, B. 1970: Middelvandstand og dens ændringer ved de danske kyster. *Det Danske Meteorologiske Institut. Medd.* Nr. 23.