



Ændring i den relative vandstand påvirker både natur og mennesker ved kysten. Foto: Anne Mette K. Jørgensen.

Vandstanden ved de danske kyster

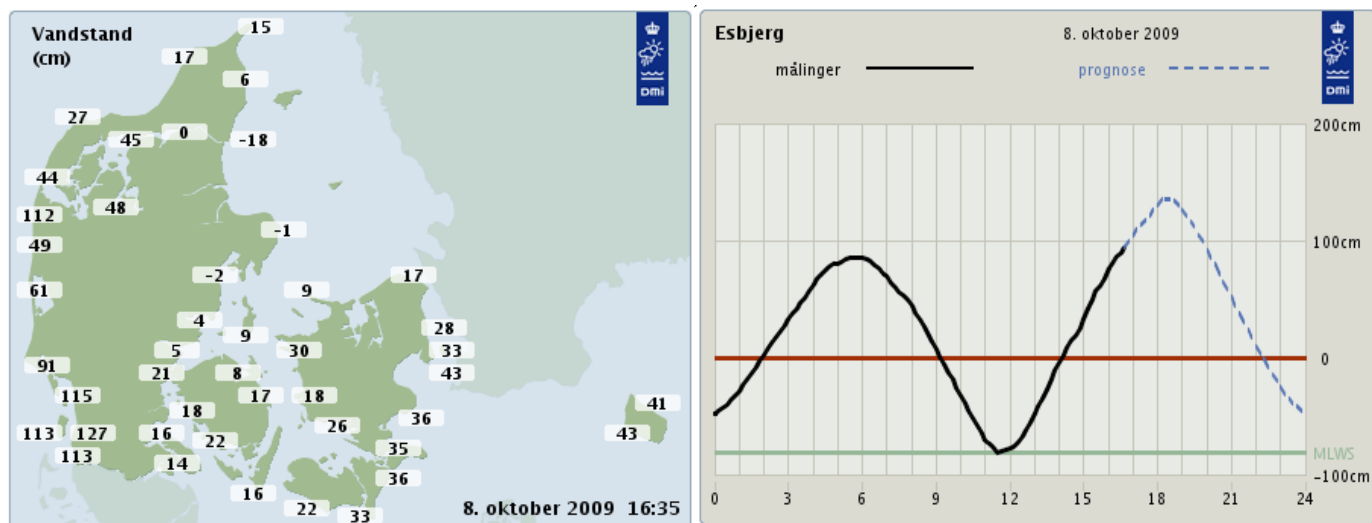
Den relative vandstand beskriver havoverfladens højde i forhold til land, og variationer i den relative vandstand påvirker natur og mennesker ved kysten. Internationale undersøgelser viser at den absolutte vandstand, dvs. vandstanden målt i forhold til Jordens centrum, er steget de sidste hundrede år på grund af klimaforandringer. Samtidig hæver Skandinavien sig efter sidste istid. Danmark ligger på kanten af området med landhævning, således at de nordlige dele af landet hæver sig, mens ændringerne i det sydvestlige Danmark er tæt på nul. Derfor viser lange måleserier at den relative vandstand i Hirtshals er faldet med ca. to cm på hundrede år, mens den i Esbjerg og Gedser er steget med ti til tolv cm på hundrede år. De danske kyster ligger i et område med risiko for stormflod, og specielt Vadehavskysten og inddæmmede arealer er udsatte. Ændringer i vandstanden og stormflodsfrekvensen kan få betydning for byggeri i kystnære områder, og de første scenarier for fremtidige stigninger i vandstanden omkring Danmark er nu klar.

I dette fakta-ark beskriver vi hvordan vandstand måles og hvilke processer der styrer variationer i vandstanden, herunder stormfloder. Fakta-arket afsluttes med en beskrivelse af fremtidige ændringer i vandstanden.

Observationer af vandstand

Vandstand måles mange steder af en række danske institutioner, herunder Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Kystdirektoratet, Farvandsvæsenet og en række havne og kommuner. Stationerne benyttes til en omfattende overvågning af vandstanden ved kysterne og i havnene. Overvågningen bruges til en række praktiske formål, specielt varsling af forhøjet vandstand.

DMI's hjemmeside viser vandstandsobservationer fra mere end 60 stationer og 48 timers prognoser for vandstanden (Figur 1).

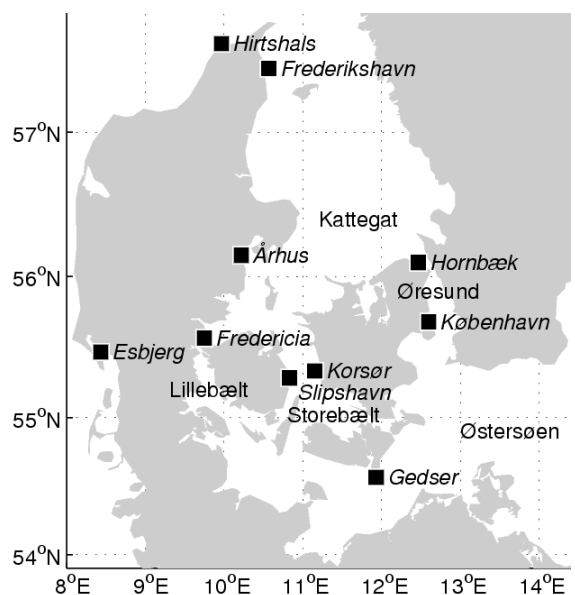


Figur 1: Eksempel på den observerede vandstand i Danmark fra den 8/10 2009. Til venstre: oversigt over stationer. Man kan se flere stationer ved at zoome ind på et udvalgt område. Til højre: Dagens målinger og prognose for Esbjerg. Aktuelle observationer og prognoser er tilgængelige på www.dmi.dk

DMI arbejdede allerede i 1880 med at konstruere en vandstandsmåler. Den var opstillet på Toldboden i København. Den første type måler var en såkaldt pneumatisk vandstandsmåler (trykmåler). Den type måler fungerede ikke altid tilfredsstillende og i 1888 blev den første måler med flyder/brønd princippet etableret i Esbjerg. I årene frem til 1899 etablerede DMI i alt ti stationer fordelt over hele landet, og de er blevet vedligeholdt lige siden, så der i dag findes over hundrede års observationer (Figur 2).

Figur 2: Danske stationer med over hundrede års observationer af vandstanden.

De seneste år er der blevet indført en ny type måler som måler tryk og temperatur. Derudfra kan vandstanden beregnes.



Data fra målerne blev de første mange år overført til papir, men siden starten af 1990'erne leverer vandstandsmålerne data online.

Figur 3: DMI's vandstandsmåler i Hornbæk. Observationer af vandstanden fra denne station er tilgængelige i en times opløsning fra 1893 til i dag. Foto: DMI.

Processer der styrer vandstanden

På korte tidsskalaer skyldes variationer i vandstanden omkring Danmark primært vejret og tidevand.

Tidevand er vandstandens regelmæssige stigning og fald med en periode på ca. 12,5 time. De skiftende høj- og lavvande skyldes tidevandsstrømme, som drives af Månens og Solens tiltrækningskraft. I det åbne ocean er vanddybden i gennemsnit omkring fire km, og tidevandet er mindre end en halv meter. Visse steder, f.eks. den Engelske Kanal, virker som en tragt. Så staves vandet op og forskellen mellem høj- og lavvande når op på 12-15 meter. I Danmark findes det kraftigste tidevand i Vadehavet, hvor forskellen på høj- og lavvande er ca. to meter. På turen op langs Vestkysten svækkes tidevandsbølgen kraftigt, og tidevandet er mindre end en halv meter ved Hanstholm. Tidevandet svækkes yderligere ind igennem Skagerrak, Kattegat og Bælthavet og er ubetydeligt syd for Bælterne og i Østersøen i øvrigt.



Vejret påvirker vandstanden gennem variationer i lufttryk og vindstuvning. Jo højere lufttrykket er i et givent punkt, jo lavere er vandstanden. Beregninger viser at en stigning i lufttrykket på en hPa giver et fald i vandstanden på 1 cm. Da lufttrykket på et normalt år varierer mellem 950 og 1050 hPa, med en middelværdi på 1013 hPa, giver det variationer i vandstanden på mellem +63 cm og -37 cm. Vindstuvning opstår når vinden presser vandet op mod en kyst. Vestenvinden kan presse vand op langs den jyske vestkyst og ind i Kattegat. Ved langvarig vindstuvning i de indre danske farvande presses vand ind i Østersøen. Det kan give en langvarig stigning i vandstanden i hele Østersøen. For eksempel var vandstanden i Østersøen i vinteren 2006-2007 øget med 40 cm i næsten to måneder på grund af vinden.

En stormflod forekommer ved kraftig vind. DMI's erfaring er at vindens effekt kan øge vandstanden i Nordsøen med op til 5-6 meter under virkeligt ekstreme forhold. Ved orkanen den 3. december 1999 blev der f.eks. målt et vindbidrag på ca. 5,5 m ved Ribe. Mere moderate stormfloder hvor vindens bidrag udgør 2-2,5 meter forekommer nogle få gange hvert år i Vadehavet. De er langt sjældnere i de indre danske farvande, hvor kun stormfloden i 1872 nåede de højder. Ved stormfloden i 2006 blev der dog målt en vandstand på 2 meter i Odense Fjord. I Kattegat og Bælthavet ses en vandstand på 1-1,5 meter over normalen som en stormflod.

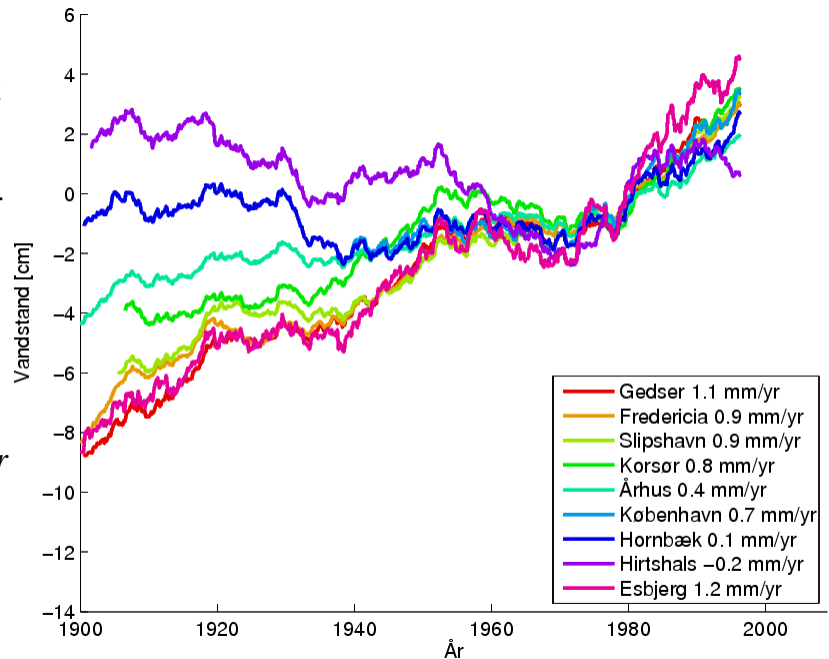
På længere tidsskalaer kan ændringer i vandstanden ses som summen af globale, regionale og lokale ændringer.

Det globale havniveau stiger hovedsageligt af to grunde: varmeudvidelse af havet som følge af stigende vandtemperatur, og smeltende gletsjere og iskapper som tilføjer vand fra landområder. Regionale ændringer kan skyldes den geografiske fordeling af temperatur og salt og ændringer i oceancirkulationen. Der kan også være effekter af ændringer i tyngdefeltet. Lokale vandstandsændringer ved de danske kyster skyldes primært vindeffekter og landhævning.

Observerede langtidsvariationer i vandstanden

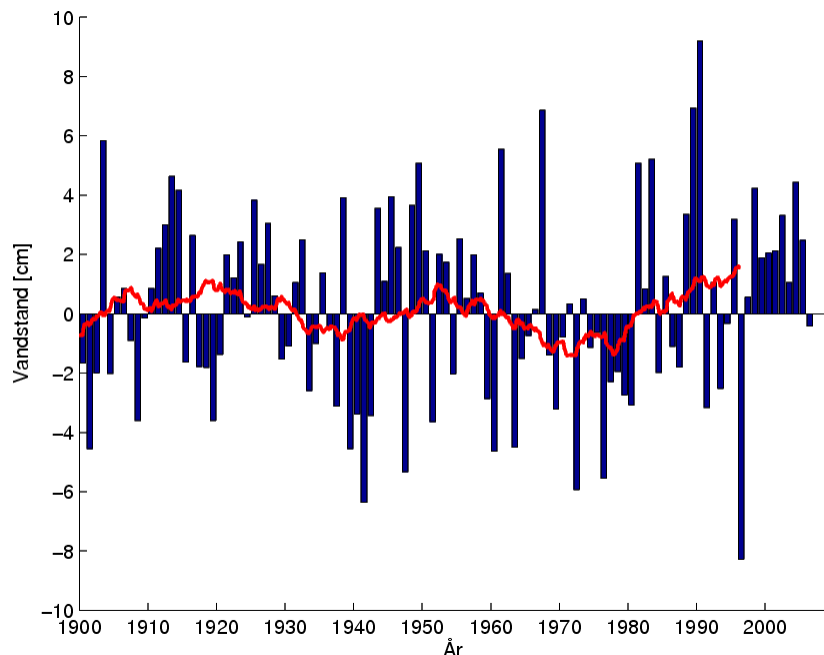
Vejr og tidevand skaber altså ganske store variationer i vandstanden på kort tidsskala. Derfor er det nødvendigt at udregne middelværdien af observationerne over længere perioder for at se variationer med længere tidsskala. Her analyseres den årlige middelværdi og 19 års løbende middelværdi.

Figur 4: 19 års løbende middelværdi af vandstanden ved ni danske stationer med angivelse af den gennemsnitlige stigningstakt for år 1901-2000. I figuren er middelværdien for år 1960-1990 fratrukket.



Den relative vandstand i den nordlige del af Danmark er faldet lidt de sidste hundrede år, mens vandstanden i den sydlige del af Danmark er steget (Figur 4). Den gennemsnitlige stigningstakt ved Esbjerg svarer til en vandstandsstigning på 12 cm over hundrede år. Det er mindre end den globale middelværdi for samme periode. Forskellen mellem de danske stationer skyldes primært landhævning.

Figur 5: Middelvandstand for Danmark fratrukket den gennemsnitlige stigningstakt. Årlig middelværdi og 19 års løbende middelværdi.



Ved at trække den gennemsnitlige stigningstakt fra for hver observationsserie er det muligt at sammenligne observationer fra alle stationerne. Så kan vi undersøge om stigningstakten ændrer sig med tiden (Figur 5). Stigningstakten var højere end gennemsnitlig i 1980'erne, men den årlige middelværdi er ikke blevet ved med at stige mere end gennemsnitligt.

Fremtidige ændringer i vandstanden

FN's klimapanel IPCC lavede en hovedrapport i 2007. De vurderer at den globale stigning i vandstanden bliver mellem 18 og 59 cm i år 2100 i forhold til år 1980-1999. Beregningerne tager ikke hensyn til fremtidige ændringer i dynamikken og afsmeltningen fra de store iskapper eller usikkerheder

i feedbacks i kulstofkredsløbet. IPCC-rapporten giver derfor ikke den øvre grænse for global vandstandsstigning. Rapporten anfører at de store iskapper kan bidrage med yderligere 10-20 cm's stigning i vandstanden i dette århundrede.

Siden IPCC-rapporten blev udsendt er der lavet en række studier som vurderer højere vandstandsstigninger frem til år 2100. Disse studier forudsiger globale vandstandsstigninger på mellem 50 cm og to meter. Andre studier viser at den globale middelvandstand i lange perioder under sidste mellemistid steg med 0,7-1,6 meter pr. århundrede.

Angående regionale ændringer viser modelberegninger at store dele af Nordatlanten vil opleve en større stigning (omkring 10 cm i gennemsnit) end det globale gennemsnit. Det bedste bud der kan gives for vandstandsændringer på baggrund af IPCC-rapporten er derfor 30-80 cm¹. På den anden side kan ændringer i tyngdefeltet gøre at afsmeltning fra Grønlands indlandsis umiddelbart kun får lille betydning for Danmark, mens afsmeltning fra Antarktis får stor betydning.

Der vil også være lokale bidrag til fremtidige ændringer. Øget vestenvind vil føre til højere vandstand på vestvendte kyster, specielt den jyske vestkyst, mens landhævninger fortsat vil påvirke vandstanden i nedadgående retning i den nordlige del af Danmark.

For Nordsøen viser de klimasimuleringer som er foretaget indtil nu, at effekten af den øgede vestenvind kun giver en lille forskel i den årlige middelvandstand. Effekten er dog større om vinteren, med et maksimum på 10-15 cm på den jyske vestkyst i januar måned. Simuleringerne viser desuden en ændring i de kraftigste storme, så stigningen i stormflodshøjder på den jyske vestkyst er omkring 30 cm oveni ændringen af den årlige middelvandstand. Den øgede vind vil også give højere bølger.

Den beregning der ligger til grund for den danske klimatilpasningsstrategi (Regeringen 2008) gælder for det såkaldte A2-scenarier for 2071-2100. I strategien vurderes det at den maksimale stormflodshøjde vil stige med 1,05 meter i Vadehavet som følge af højere vandstand og ændring i vindforholdene. Den seneste forskning giver ikke anledning til at ændre denne vurdering, men vi anbefaler at muligheden for højere stigninger end anført i IPCC-rapporten og i tilpasningsstrategien indgår i risikovurderinger.

De indre danske farvande er relativt godt beskyttet mod ændringer i vestenvinden. De klimasimuleringer for de indre danske farvande som DMI har lavet, viser ingen ændringer i stormflodshøjden ud over ændringerne i middelvandstanden.

¹ Det nedre estimat fremkommer som den afrundede sum af det nedre globale estimat for B1 scenariet (18 cm) og det bedste estimat af regionale ændringer (10 cm).

Det øvre estimat fremkommer som den afrundede sum af det øvre globale estimat for A2 scenariet (51 cm), det bedste estimat af regionale ændringer (10 cm) og et ekstra bidrag fra de store iskapper (20 cm).