

# Stormfloder og Stormflodsvarsling

Stormflod

Stormflodsvarsling

Stormflodsberedskab

Måling af vandstand

Historiske stormfloder

Flere stormfloder fremover?

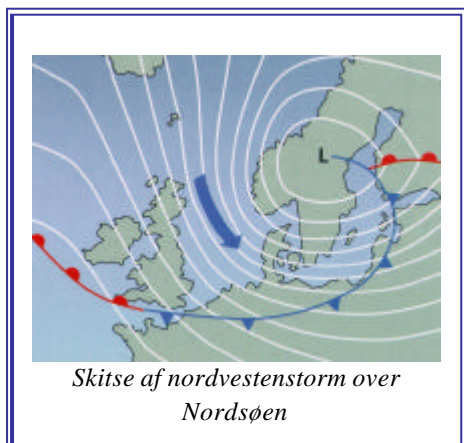
***En stormflod er et højvande i forbindelse med et stormvejr. Stormfloder er mange steder et alvorligt problem, der truer menneskeliv, ejendomme og landskaber.***

Efterhånden som samfundet udvikler sig, udnyttes også de mere udsatte områder, og selv om der bygges stadig stærkere og større diger, er det vigtigt for et kystsamfund at have en god stormflodsvarsling. I Danmark er Vadehavskysten det mest udsatte område, men også andre lavtliggende områder, for eksempel inddæmmede arealer, kan blive oversvømmet.



En stormflod forekommer ved kraftig vind. Vindens effekt kan i Nordsøen erfaringsmæssigt øge vandstanden med op til 5-6 meter under virkelig ekstreme forhold. Ved orkanen d. 3. december 1999 blev der f.eks. målt et vindbidrag på ca. 5.5 m ved Ribe. Mere moderate stormfloder, hvor vindens bidrag udgør 2-2½ meter, forekommer nogle få gange hvert år i Vadehavet, og langt mindre hyppigt i de indre danske farvande, hvor kun [stormfloden i 1872](#) nåede disse højder. I Kattegat og Bælthavet betragtes en vandstand på 1-1½ meter over normalen som en stormflod.

Stormfloder i Nordsøen rammer især de lavvandede områder i Vadehavet, Tyske Bugt og langs den hollandske kyst, dvs. Nordsøens sydøstlige hjørne. Dette skyldes, at de kraftigste storme har vindretninger mellem vest og nord, og at vinden fra disse retninger har et langt frit løb over åbent hav, hvilket øger dens virkning.

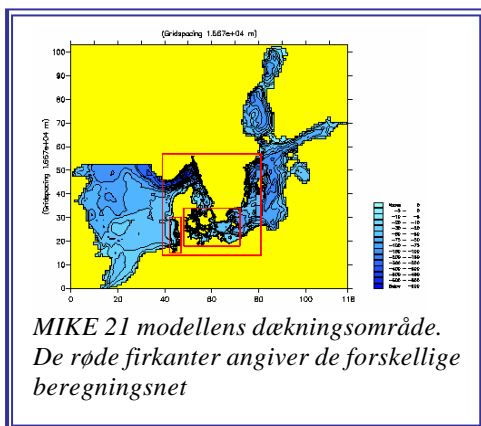


I de indre danske farvande er stormfloder mere sjældne end i Nordsøen. Stormflod i dette område skyldes ikke blot den lokale vind, men også vindforholdene over Nordsøen eller Østersøen langt fra den forhøjede vandstand. En langvarig vestenstorm over Nordsøen vil presse vand ind i Kattegat og videre ind gennem Bælterne. Tilsvarende vil en nordøstenstorm over den centrale Østersø presse vand ud gennem Bælterne. De danske øer (især Fyn og Sjælland) virker som en barriere for gennemstrømningen, og derfor kan vandmasserne ophobes i Bælthavsområdet - til tider uden at man har stormvejr i dette område.

Hvor alvorlig en stormflodssituation bliver afhænger udover af vindens styrke og retning også af om stormfloden kulminerer samtidig med et tide-højvande eller -lavvande. Kysten langs Nordsøen er præget af [tidevandet](#), der to gange i døgnet giver høj og lavvande ved passage af tidevandsbølgen fra syd mod nord. Tidevandet skyldes månens og solens træk i vandet, og består af meget lange bølger, der udbreder sig rundt om jorden. Tidevandet bevæger sig ind i Nordsøen nordfra fra Atlanterhavet. Denne bølge bevæger sig i Nordsøen i retning modsat uret videre ned langs Englands østkyst til den engelske kanal, hvor tidevandsbølgen fra Atlanterhavet kommende ind i Nordsøen via den engelske kanal støder til. Herfra løber tidevandsbølgen op langs Holland, Nordtyskland og den jyske vestkyst. Langs den danske kyst findes det kraftigste tidevand i Vadehavet med en forskel på høj- og lavvande på op mod 2 meter. På turen op langs Vestkysten svækkes tidevandsbølgen kraftigt, og tidevandsudsvinget er mindre end en halv meter ved

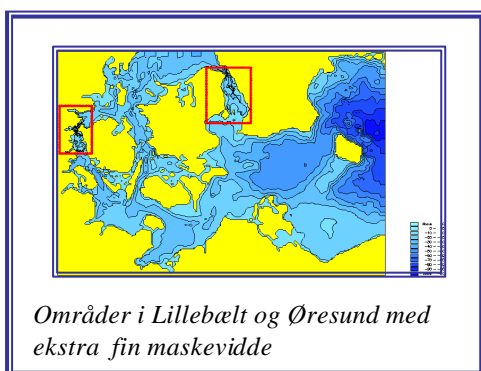
Hanstholm. Tidevandet svækkes yderligere ind igennem Skagerrak, Kattegat og Bælthavet og er ubetydeligt syd for Bælterne og i Østersøen i øvrigt.

## Stormflodsvarsling



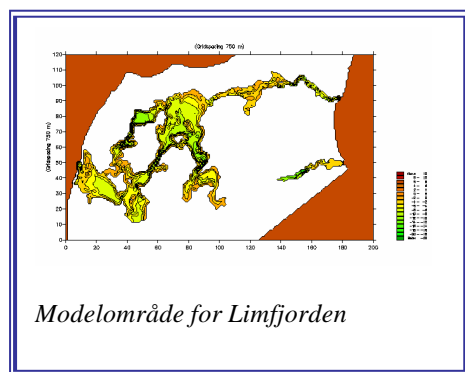
Stormflodsvarslingen ved DMI har eksisteret siden 1985, og er baseret på numerisk hydrodynamisk modellering, hvor de grundlæggende ligninger for havstrømmene løses på computer. Dette svarer i en forenklet udgave til vejrmodellernes beregning af luftstrømme.

Den nuværende benyttede hydrodynamiske model - MIKE 21 - er udviklet af DHI - Institut for Vand og Miljø. Ligningerne løses på et beregningsnet, der dækker Nordsøen, Østersøen og de indre danske farvande (se figur), således at strømhastighed og vandstand beregnes i et stort antal punkter hvert 5. minut. Man opererer med flere beregningsnet som "æsker" inde i hinanden, så nettet er fintmasket i særligt interessante områder.



Det groveste net har et maskevidde på 9 sømil (16.7 km), og opløsningen øges med en faktor 3 for hvert niveau, så maskevidden i Bælthavet og Vadehavet er 1852m og 617m i Øresund og Lillebælt. En lille afstand mellem punkterne er nødvendig for at strømmen gennem bæltene og Øresund kan beregnes med rimelig nøjagtighed.

I 2001 startede DMI udarbejdelsen af en stormflodsvarsling for Limfjordsområdet. Her anvendes en selvstændig version af MIKE 21 modellen, som i åbningen mod henholdsvis Nordsøen og Kattegat får randdata fra "den store model". Maskevidden i Limfjordsmodellen er 750 m.



MIKE 21 drives dels af prognoser for vind og lufttryk produceret af DMIs finmaskede vejrmodel DMI-HIRLAM, dels af tidevandet i Nordatlanten og i den Engelske Kanal, og dels af vandtilstrømningen fra floden Neva i Østersøen. Modellen køres fire gange i døgnet, og hver kørsel tager ca. et kvarter på DMIs supercomputer. Resultatet er en 48 timers prognose for vandstand og vertikalt midlet strøm, med en tidlig opløsning på 10 minutter. Prognoser ud over 48 timer kan beregnes ved at supplere DMI-HIRLAM med en global vejrmodel fra det fælles europæiske meteorologiske center ECMWF, som beregner vejrprognoser helt ud til ti døgn – dog på et lidt grovere beregningsnet.

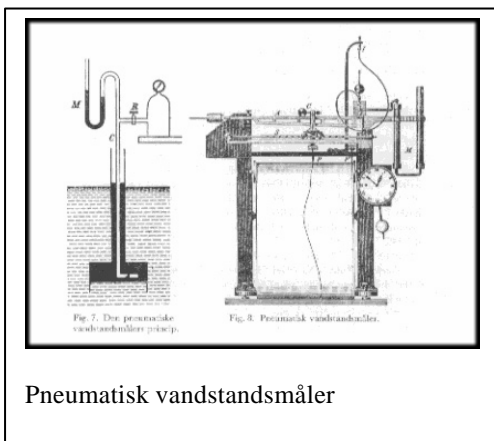
## Stormflodsberedskab

De vagthavende meteorologer på DMI overvåger døgnet rundt vandstandene langs de danske kyster. Hvert 10. minut modtages vandstandsobservationer fra DMIs, Kystdirektoratets, Farvandsvæsenets og lokale myndigheders målestationer, og disse sammenholdes med DMIs modelprognoser for de kommende 48 timer. Når vandstandsprognoserne forudsiger at de lokalt fastlagte varslingskriterier (det vil sige den vandstand der på den pågældende lokalitet vil skabe oversvømmelse) overskrides, kontakter vagtpersonalet de berørte stormflodsberedskaber pr. telefon, hvorefter beredskaberne via fax løbende holdes underrettet om udviklingen. Beredskaberne har desuden mulighed for at diskutere vejrudviklingen og vandstandsprognoserne med de vagthavende meteorologer. Der er i dag oprettet stormflodsberedskaber i en række kommuner og havne. DMIs beredskab til varsling af stormflod omfatter per 1. januar 2002 24 lokaliteter.

## Måling af vandstand

Vandstanden langs de danske kyster har været målt systematisk i mere end 100 år. Det oprindelige formål med målingerne var ikke stormflodsvarsling, men bestemmelse af en middelvandstand for Danmark: Dansk Normal Nul (DNN). DMI havde allerede i 1880 eksperimenteret med at konstruere en vandstandsmåler, som var opstillet på Toldboden i København. I årene efter 1890 etablerede DMI i alt 10 stationer fordelt over hele landet.

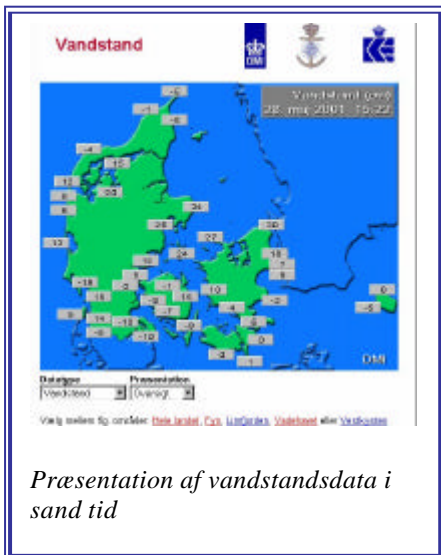
Anvendelse af data til stormflodsvarsling skete først efter stormfloden der ramte Holland i [februar 1953](#). De 10 oprindelige vandstandsmålere er op gennem de sidste 100 år blevet suppleret med yderligere stationer langs de danske kyster. I dag måles der ved mange lokaliteter af en række danske institutioner som foruden DMI omfatter Kystdirektoratet, Farvandsvæsenet og en række lokale havne og kommuner. I dag benyttes stationerne til en omfattende monitorering af vandstanden ved kysterne og i havnene til en række praktiske formål.



Den første type vandstandsmåler var en såkaldt pneumatisk vandstandsmåler (trykmåler). Princippet er baseret på en trykmåling i en klokke med olie nedsænket i vandet. Ved en vandstandsændring ændres trykket i røret, og søjlen i U-røret vil bevæge sig op eller ned i takt med vandstanden. Søjlen i U-røret blev så forbundet til et skriveapparat drevet af et urværk.

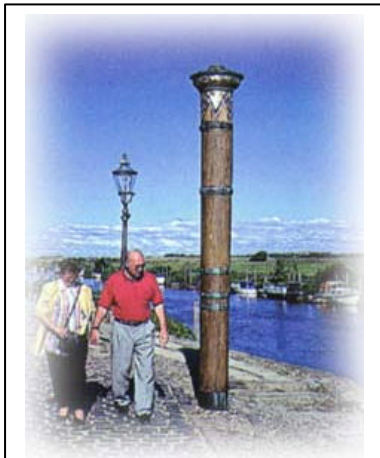
Denne type måler fungerede ikke altid tilfredsstillende og i 1888 blev den første måler med flyder/brønd princippet etableret i Esbjerg, og denne type måler benyttes endnu flere steder. De seneste år er der blevet introduceret en ny type trykmåler, som placeret i et rør i havnebassinet måler tryk, temperatur og saltholdighed hvorudfra vandstanden kan beregnes.

Data fra målerne blev de første mange år overført til papir via et skriveapparat koblet til et urværk. Men fra ca. 1970 blev det muligt at foretage registreringer elektronisk, og de fleste vandstandsmålere er nu stillet om til levering af data on-line.



DMI præsenterer i samarbejde med Kystdirektoratet, Farvandsvæsenet og en række lokale myndigheder vandstandsdata fra mere end 40 observationspostioner på Internettet ([www.dmi.dk](http://www.dmi.dk)), hvor prognoser for vandstanden de førstkomende 12 timer ligeledes kan ses.

## Historiske stormfloder



*Stormflodssøjlen i Ribe.  
Ringene på søjlen viser højden  
af stormfloderne i 1634, 1825,  
1909, 1911 og 1904*

De danske kyster har igennem tiderne været ramt af flere alvorlige stormflodskatastrofer.

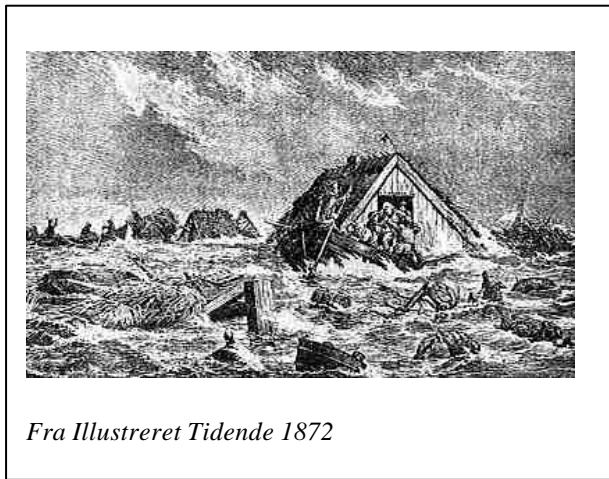
### ”Den store Manddrukning”

En af de største katastrofer i Va dehavets historie fandt sted i januar 1362 ved "Den Store Manddrukning". Ifølge overleveringerne omkom mere end 200.000 mennesker, og store dele af landet forsvandt i bølgerne. Dette kan ikke rigtig verificeres i dag. Noget land er der dog nok forsvundet ved stormfloden, men der er næppe omkommet mere end højst 10.000 mennesker, hvilket selvfølgelig har været katastrofalt nok til at have præget området og befolkningens levevilkår i lang tid efter. Under den meget store stormflod den 11. oktober 1634 stod vandet højt op på gulvet i Ribe domkirke, og man kan stadig se højvandet markeret i en af domkirkens mure.

### November 1872

Den største stormflodskatastrofe i nyere tid skete den 12.-14. november 1872. Disse dage blev store dele af Lolland og Falster oversvømmet, 80 mennesker omkom og 50 skibe strandede på Sjællands østkyst. Den helt usædvanligt høje vandstand på omkring 3 meter over normalt daglig vande var resultatet af en meget langvarig og særdeles kraftig østenstorm. Et kraftigt lavtryk bevægede sig i dagene op til stormen fra Alperne til Danmark, og på dets nordside blæste en stadig kraftigere østlig vind, der den 13. november 1872 kulminerede med orkanstyrke på 32 m/s eller mere.

Vandet blev derfor med meget stor kraft presset mod vest i Østersøen og oversvømmede de lavtliggende områder, altså især det sydlige Lolland og det sydøstlige Falster, men også andre steder som for eksempel Køge blev oversvømmet. Højest blev vandstanden ved Sønderjyllands østkyst og i Slesvig, hvor vandet nåede hele 10 fod eller omkring 3,3 meter over daglig vande.



*Fra Illustreret Tidende 1872*

I en samtidig beretning fra "**Illustreret Tidende**" fra december 1872 hedder det: "De ødelagte bygninger ser ud som Øer i det vilde Hav. Her er Taget styrtet sammen og Beboerne maaske bortskyllede af de rasende bølger; hist kommer hjulpen til de Ulykke lige, som have tilbragt en Nat og en Morgen fuld af usigelige Rædsler paa Lofterne ... Faar, Køer, Heste - Eiernes Stolthed og Glæde - drive som Aadsler omkring paa den oprørte Flade. Overalt Ødelæggelse og intet Andet!".

Efter katastrofen blev der gennemført et omfattende digebyggeri, blandt andet et 63 km langt næsten ubrudt dige langs den sydlolandske kyst. Siden 1872 har der ikke for alvor været brug for digerne, idet vandstanden siden ikke har været højere end 1,5 - 1,8 meter over normalt daglig vande. Situationen i november 1872 var virkelig helt ud over det sædvanlige, og den regnes for kun at forekomme 1 gang hvert 1000. år.

### Februar 1953

Den værste stormflod i Nordsøen i nyere tid fandt sted 1. februar 1953, og forårsagede et digebrud i Holland med ca. 2.000 dødsopfre til følge. Den maksimale vandstand i Esbjerg nåede ved den lejlighed 2,19 meter over daglig vande,

hvilket ikke er specielt højt. Efter denne katastrofe, blev der flere steder i Europa igangsat projekter, der skulle gøre det muligt at varsle en stormflod. Ved DMI blev dette arbejde påbegyndt i 1954.

#### November 1981

De sidste 100 års højeste vandstandsregistrering i Esbjerg stammer fra 24. november 1981, hvor niveauet nåede op på 4,33 meter over normalen. Ved den lejlighed blev Esbjerg Havn totalt oversvømmet, og der skete skader for et tocifret millionbeløb. Stormfloden var et resultat af en særdeles kraftig storm i Nordsøen. Stormen gav ikke alene anledning til en af de højeste målte vandstande i nyere tid, den var også meget kraftig over land. Både Rold Skov i Jylland og Grib Skov i Nordsjælland blev stærkt hærget af stormen.

#### December 1999

Stormfloden i Vadehavet den 3.-4. december 1999 er den seneste i rækken af stormfloder, der har ramt området i 1990'erne. Vandstanden nåede i Esbjerg op på 3,98 meter, hvilket er det 4. højst målte siden målingerne startede i 1890'erne. Længere sydpå ved Ribe nåede vandet betydeligt højere op. En vandstand på mere end 5 meter over normal vandstand blev registreret inden måleren brød sammen. Selv om denne vandstand ikke er rekordhøj, så var den alligevel helt usædvanlig, da den forekom ved tide-lavvande og ikke ved højvandstidspunktet. Var stormfloden kulmineret ved højvande ville vandstanden have været 1-1.5 meter højere.

#### **Flere stormfloder fremover?**

De sidste 20 år har været præget af mange stormfloder i forhold til de mere end 100 år vandstanden er blevet målt systematisk. Hvor tilfældene med vandstande over 2,50 meter i Esbjerg Havn i de meste af sidste århundrede har ligget mellem 5 og 10 på 10 år, har 1980'erne haft 16 tilfælde og 1990'erne hele 20 tilfælde. Årsagen til dette store antal høje vandstande er ikke helt klar.

Vandstanden langs kysterne har været stigende de fleste steder. Der er dog forskelle som følge af de vertikale landbevægelser, der skyldes at de nordlige dele af Skandinavien blev trykket ned af isen under den sidste istid. Dette bevirker at:

- vandstanden falder i den Botniske og Finske Bugt med op til 8 mm om året.
- vandstanden i Vadehavet stiger med ca. 1 mm om året eller 10 cm på 100 år.

Alle computerberegnete modelkørsler af det fremtidige klima viser at en global opvarmning vil medføre en stigning i vandstanden i verdenshavet. Denne stigning har 2 årsager:

- udvidelse af vandvolumenet på grund af opvarmning (termisk udvidelse)
- forøgelse af det totale vandvolumen på grund af afsmeltning af is fra land (gletsjere, indlandsis på Grønland og Antarktis)

Prognoser for vandstandsændringen de kommende 100 år varierer en del afhængigt af hvilken klimamodel der anvendes, hvilket er en naturlig konsekvens af at vort grundlæggende kendskab til mange af de fysiske processer i havet endnu er ufuldstændige. Modelkørslerne forudsiger en global middel vandstandsstigning i intervallet 0.14 – 0.70 m frem til år 2100.

Der er desuden meget der tyder på, at en forøget drivhuseffekt også vil påvirke styrken og hyppigheden af storme, således at stormene over Nordatlanten tiltager i styrke og rykker nærmere på Europa og dermed Danmark. Hermed vil vi ikke alene kunne risikere en generel vandstandsstigning men også en tendens til hyppigere og kraftigere storme. Dette vil generelt betyde at stormflodssituationer vil forekomme oftere og med mere ekstreme vandstande end vi kender til i dag.