

Scheepswaarnemingen en hun belang voor weersvoorspelling en onderzoek

Andreas Sterl, KNMI

In de drie voorafgaande artikelen wordt het een en ander over het maken van waarnemingen op schepen besproken. Echter, waarom zijn waarnemingen eigenlijk zo belangrijk? Wat wordt ermee gedaan? Wie heeft er belangstelling voor?

De meteoroloog

De meest bekende belangstellende is natuurlijk de meteoroloog. Hij wil in de toekomst kijken en het weer van de komende dagen voorspellen. Dat dit een belangrijke taak is zal niemand betwisten. Echter, vooruitkijken kan alleen als je weet vanwaar je start. In andere woorden, pas als je het weer van vandaag kent, kun je iets zinnigs over het weer van morgen zeggen. En om het weer van vandaag te kennen moet je het waarnemen.

Dat is eigenlijk triviaal. Stel, je wilt nog even een ommetje gaan wandelen. Dan moet je gaan beslissen wat je aantrekt, en daarvoor maak je je eigen weersvoorspelling voor een uur vooruit. Je kijkt uit het raam, en als de zon schijnt en er geen wolken zijn zeg je „Het zal wel droog blijven%. Zijn er echter donkere wolken in de buurt en waait de wind uit de richting van de wolken denk je al gauw „Het zal best kunnen gaan regenen, laat ik de paraplu maar meenemen.%

Achter deze overwegingen zit een *model* van de werkelijkheid, een beeld van hoe het weer werkt. In het laatste voorbeeld is dat model ongeveer „De wind blaast de wolken mijn kant op, en uit wolken valt regen.% De professionele meteoroloog doet niets anders. Ook hij gebruikt een model van de werkelijkheid om, uitgaand van het weer nu, het weer van de toekomst te voorspellen. Het verschil zit hem in het feit dat de meteoroloog veel meer waarnemingen gebruikt dan alleen maar een blik uit het raam, en dat zijn model veel ingewikkelder is.

Figuur 1 toont het aantal waarnemingen van landstations („synop%, rood) en van schepen („ship%, blauw), die voor de weersverwachting op 19 december 2003 middernacht gebruikt werden. In totaal werden er 1383 scheepswaarnemingen gebruikt. Dat lijkt misschien niet veel, maar ze

komen wel uit gebieden waar anders helemaal geen waarnemingen zijn. Het valt op dat het aantal waarnemingen op het Zuidelijke Halfrond beduidend lager is dan op het Noordelijke. Naast de waarnemingen van landstations en schepen heeft de meteoroloog tegenwoordig ook nog de beschikking over waarnemingen vanuit vliegtuigen, weerballonnen, boeien en, heel belangrijk, satellieten.

Het door de meteoroloog gebruikte model houdt rekening met een veeltal van factoren en interacties. Wordt het bijvoorbeeld aan de grond warmer gaat de warme lucht opstijgen. Meegevoerd water gaat condenseren en het vormen zich wolken. Daardoor komen er minder zonnestralen op de grond. Bovendien kan het gaan regenen. Je kunt het zo gek niet verzinnen, of het heeft invloed op het weer: Zijn er bomen (naald of loof, hoog of laag) of is er gras, ligt er sneeuw of niet, is de bodem vochtig of droog, zijn er hoge of lage golven op het water. Het moge duidelijk zijn dat het voor mensen onmogelijk is om al die invloeden en interacties te overzien. Dat kan alleen een computer. Alle invloeden en dwarsverbanden die het weer bepalen worden in de vorm van vergelijkingen gevat. Deze vergelijkingen, samen met een recept om ze op te lossen, noemen we een weermodel. Gezien de complexiteit van het weersysteem, de hoeveelheid gegevens die verwerkt moeten worden en de noodzaak om snel een voorspelling te kunnen maken (je hebt niets aan een voorspelling voor morgen, die pas overmorgen klaar is) zijn voor het draaien van weermodellen heel krachtige computers nodig. Alleen de militairen (inlichtingendiensten) gebruiken nog krachtigere computers.

Maar voordat je de computer het weer van morgen (en de volgende dagen) uit kunt laten rekenen moet hij weten waar hij moet beginnen. En daarvoor zijn de waarnemingen onmisbaar. Hoe meer waarnemingen hoe beter, als ze maar van goede kwaliteit zijn. En, hoe minder waarnemingen er in een bepaald gebied zijn, hoe waardevoller één waarneming is. Dus: Wees extra alert op het Zuidelijke Halfrond!

Het volgende voorbeeld laat het belang van waarnemingen zien. Op 26 december 1999 werden grote delen van Noordfrankrijk en Zuidoostland door een hevige storm geteisterd (bekend als „French Storm% of „Lothar%). Deze storm was bijzonder slecht voorspeld zoals te zien in Figuur 2. Figuur 2a toont de situatie op 26 december 1999, en Figuur 2b de voorspelling van twee dagen eerder. Alhoewel de voorspelling een depressie over Zuidoostland laat zien is deze te

zwak en de bijbehorende drukgradiënten en dus winden ook. Figuur 2c laat een experimentele 48-uurs voorspelling zien, waarbij 40 extra waarnemingen over de Noord Atlantik gebruikt zijn, om een betere begintoestand te bepalen. De depressie is nu veel dieper, en daarmee ook de drukgradiënt en de winden. De volledigheid gebiedt te zeggen dat de positie van de 40 extra waarnemingen pas achteraf en zo optimaal mogelijk is bepaald. Maar het voorbeeld laat wel zien dat met maar 40 extra waarnemingen een veel betere waarschuwing mogelijk zou zijn geweest.

De bij de operationele weerscentra binnenkomende waarnemingen worden uiteraard niet zomaar blindelings gebruikt. Ze worden eerst uitvoerig gechecked. Het wordt bijvoorbeeld gekeken of ze bij elkaar passen (dus geen luchttemperatuur van 30 graden bij een zeewatertemperatuur van 0 graden), of ze bij andere waarnemingen passen (dus geen „mooi weer% als andere schepen in de buurt „orkaan met hevige regen% melden), of of ze bij de klimatologie passen (dus geen 30 graden in januari in de buurt van Schotland). Deze voorbeelden zijn natuurlijk wat overdreven, maar komen wel voor. Oorzaak is meestal een fout bij het intikken van de gegevens. Overigens heeft de komst van Turbo1 en later TurboWin ervoor gezorgd dat dit soort grove fouten niet meer voorkomen.

Dat zoEn kwaliteitscontrole ook mis kan gaan bewijst een episode uit 1993. Toen was het water langs de Europese kust eind april extreem warm, veel warmer dan normaal. De automatische kwaliteitscontrole gooide toen alle temperatuurwaarnemingen weg (zo warm dat kan niet in deze tijd van het jaar!), met als gevolg dat de modellen voor Westeuropa veel te lage temperaturen voorspelden. Dit voorval onderstreept eenmaal meer het belang van (het ontbreken van) goede waarnemingen. Uiteraard werd de kwaliteitscontrole onmiddellijk aangepast!

De onderzoeker

Vaak wordt gesteld dat waarnemingen op zee eigenlijk niet meer nodig zijn, want „er zijn toch satellieten%, en die meten veel meer en veel beter. Dat ze meer meten is wel waar, maar beter? Ja, in principe ook beter, maar er blijft een probleem. De satelliet en daarmee de instrumenten zijn heel ver weg, en je kunt ze niet zo nu en dan iken, zoals het met de meetinstrumenten op aarde (bv. het scheepsbarometer) wel gebeurt. De enige manier

om vast te stellen of een satelliet-instrument het nog goed doet is door de metingen met metingen op aarde te vergelijken. En daar zijn de scheepsmetingen weer onontbeerlijk, want hoe kom je anders aan een meting van wind op zee? Hoe belangrijk de scheepswaarnemingen zijn heeft de Amerikaanse onderzoeker Dick Reynolds onlangs voor de zeewatertemperatuur uitgezocht. Volgens zijn berekeningen moet je zes scheepswaarnemingen per vierkant van 10 graden hebben, om de satelliet-metingen op een halve graad nauwkeurig te kunnen houden. Zijn berekeningen laten verder zien dat een dergelijke dichtheid van waarnemingen op de meeste plaatsen bereikt wordt, behalve in sommige tropische gebieden en ten zuiden van 40°Z. Dus: op naar de Roaring Forties!

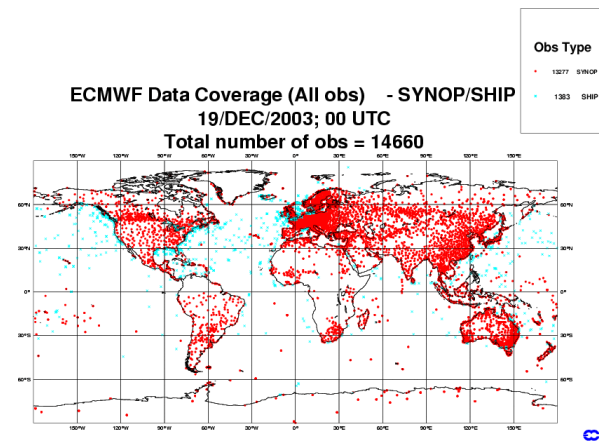
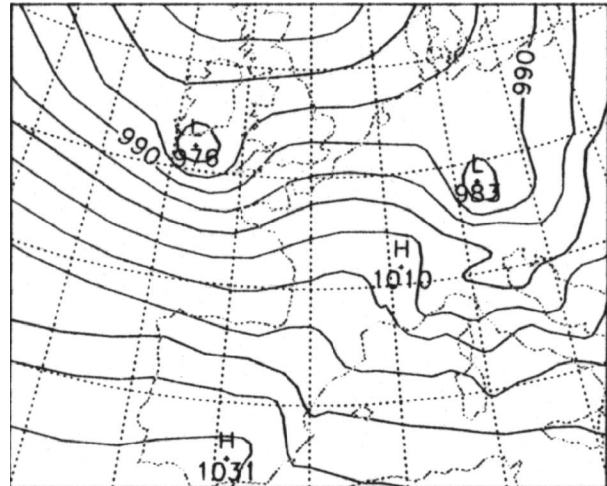
De klimatoloog

Tenslotte hebben we nog de klimatoloog, die waarnemingen heel belangrijk vindt. De klimatoloog verzamelt waarnemingen om te bepalen hoe het weer (of de samenstelling van het zeewater, of de sterkte van de zeestromingen, of \bar{y}) in een bepaald gebied *normaliter* is, en hoe het gedurende een jaar en op de lange termijn verandert. Veranderingen op de lange termijn kunnen bijvoorbeeld laten zien of de aarde als gevolg van het broeikas effect opwarmt. Figuur 3 laat inderdaad een opwarming over de afgelopen 50 jaar zien, die globaal gemiddeld over de oceanen ongeveer 0.5 graden bedraagt, maar er zijn ook gebieden van afkoeling.

Uit de grootte van afwijkingen van het gemiddelde kan ook geconcludeerd worden met welke extrema rekening moet worden gehouden. Voor veel technische toepassingen (denk aan booreilanden) is het van belang om te weten met welke maximale golfhoogte en windsterkte rekening moet worden gehouden. Figuur 4 laat als voorbeeld zien hoe de golfhoogte eruit ziet die gemiddeld eens in de honderd jaren optreedt („100-year return wave height%). Het plaatje is gebaseerd op een combinatie van model en waarnemingen.

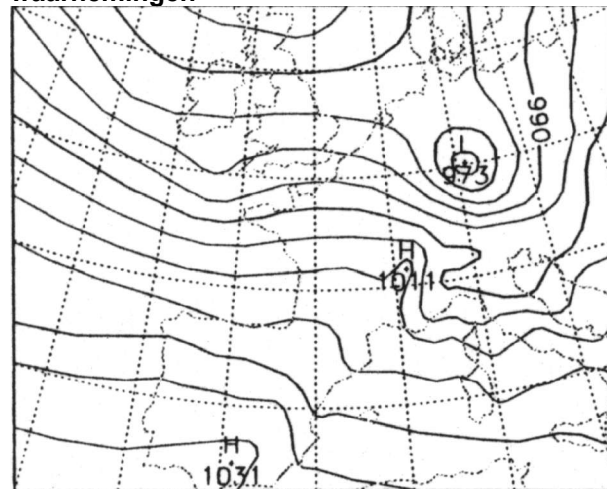
In elk geval is het belangrijk dat de metingen over een lange tijdvak op dezelfde manier gebeuren. Omdat satellieten pas sinds 1980 op grote schaal meten, blijven scheepswaarnemingen belangrijk om metingen te hebben die goed aansluiten bij het voor-satelliet tijdperk. Wat er kan gebeuren als plotseling te meetmethode verandert laat het voorbeeld zeewatertemperatuur zien. Tot even na de Tweede Wereldoorlog werd deze gemeten door

een puts over boord te gooien, hem gevuld met water omhoog te halen en er een thermometer in te steken. Afhankelijk van hoe lang dat duurt kan het water in de puts flink afkoelen voordat de temperatuur gemeten is. Omstreeks 1947 werd er massaal toe over gegaan om de zeewatertemperatuur in het koelwater te meten. Deze overgang van meetmethode is in tijdreeksen van zeewatertemperatuur als sprong te zien, en wetenschappers breken nu hun hoofd over de vraag hoe ze voor deze sprong moeten corrigeren. Daartoe moeten ze zo interessante vragen beantwoorden als Hoe snel koelt water in een puts af? Was de puts van hout of van canvas? Stond hij in de zon of in de schaduw? Tja, wetenschap is soms gekkenwerk!

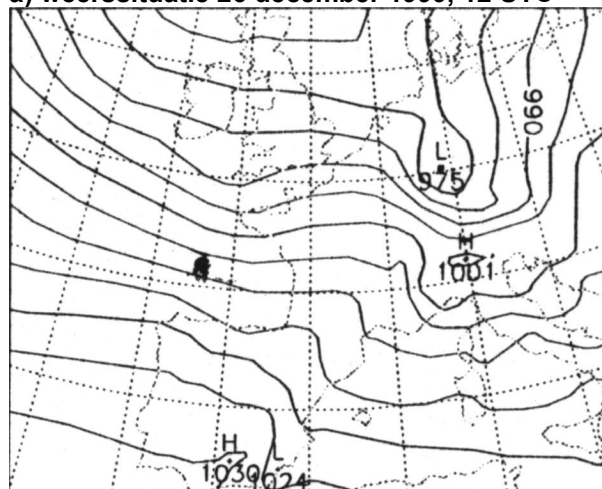


Figuur 1: Positie van waarnemingen van schepen en lanstations gebruikt voor de weersverwachting van ECMWF van 19 december 2003, 00 UTC.

c) verbeterde voorspelling met meer waarnemingen

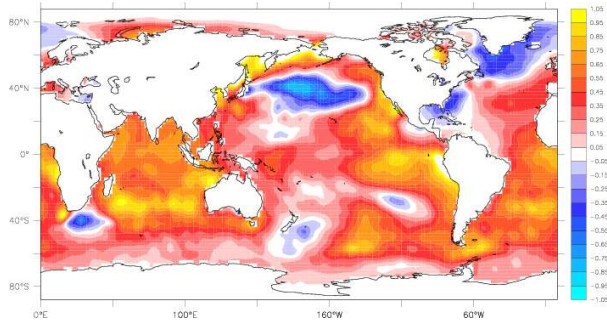


a) weerssituatie 26 december 1999, 12 UTC

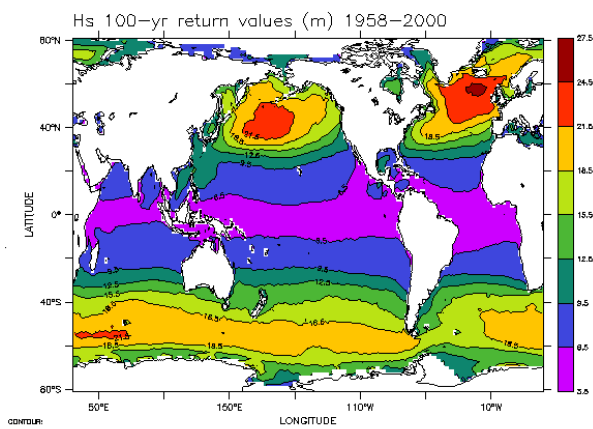


b) voorspelling 48 uur vooruit voor 26-12-1999

Figuur 2: De invloed van waarnemingen. a) de weerssituatie op 26 december 1999, 12 UTC, b) de 48-uurs voorspelling van het ECMWF voor dezelfde tijd, en c) een verbeterde voorspelling met maar 40 (!) extra waarnemingen boven zee (uit een artikel van M. Leutbecher en anderen, verschenen in Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 128, 2002, pp 1641-1670).



Figuur 3: *Verandering van de zeewatertemperatuur tussen 1950 en 2000 (in graden Celsius).*



Figuur 4: *100-jaar return golfhoogte. Gebaseerd op combinatie uit modelresultaten en waarnemingen.*

Ship observations and their importance for weather forecasting and research

Andreas Sterl, KNMI

The three foregoing articles deal with different aspects of making observations on ships. However, why are observations so important? How are they being used? Who is interested in them?

The meteorologist

The best known among those who are interested is of course the meteorologist. He wants to look into future and to forecast the weather of the next days. No doubt this is an important task. However, to be able to look ahead you have to know where you start. In other words, only if you know today's weather you can say something about the weather tomorrow. And to know today's weather you have to observe it.

This is trivial. Imagine that you want to go out for a walk. You have to decide how to dress, and you make your own weather forecast for the next hour. You look out of the window, and if the sun shines and no clouds are visible you would say, „It will remain dry%. However, if there are clouds around and the wind blows from where they are you would probably think „it's likely to go raining. I should better take my umbrella.%

Behind these considerations is a *model* of reality, a picture of how the weather works. In the last example that model is something like „the wind blows the clouds into my direction, and clouds bring rain%. The professional meteorologist does the same. He too uses a model of reality to forecast future weather, starting from the weather now. The difference is that the meteorologist uses much more observations than a single look out of the window, and that his model is much more complex.

Figure 1 shows the number of observations coming from land stations („synop%, red) and from ships („ship%, blue) that were used for the forecast starting at midnight on December 19, 2003. A total of 1383 observations from ships have been used. That does not sound much. However, they come from remote areas with no other observations. It is obvious that there are much less obser-

vations in the Southern Hemisphere than in the Northern Hemisphere. Apart from observations from land stations and ships the meteorologist also has access to observations from aircrafts, buoys, and, very importantly, satellites.

The model used by the meteorologist takes into account a lot of forcings and interactions. For instance, if the ground warms up heated air will start to rise. Water vapor taken along with the rising air condenses and clouds form, preventing sunlight to reach the ground, so warming stops. Furthermore, it may start raining. It is hard to imagine something that does not influence weather. Are there trees (coniferous or deciduous, low or high) or is there grass, is there snow or not, are there high waves on the water or are they low. It should be clear that it is impossible for individuals to oversee all these forcings and interactions. Only a computer can. Everything that influences the weather is cast into equations. These equations, together with a recipe to solve them, are called a weather forecast model. Taking into account the complexity of the weather system, the amount of data to be processed, and the requirement to be quick (a forecast for tomorrow that is only available the day after tomorrow is obviously worthless), it becomes clear that very powerful computers are necessary to run a weather model. Only the military (intelligence services) use more powerful ones.

However, before you can let the computer calculate the weather of tomorrow (and the days after), you have to tell it where to start. To determine the start observations are invaluable. The more observations the better, as long as their quality is good. And, the lower the number of observations in a certain area is, the more valuable an individual observation is. Thus: Be extra alert in the Southern Hemisphere!

The following example illustrates the importance of observations. On December 26, 1999, large parts of Northern France and Southern Germany were hit by a severe storm (known as „French Storm% or „Lothar%), causing severe damage. The forecasts for this storm were extremely poor as shown in Figure 2. Figure 2a displays the situation on December 26, 1999, and Figure 2b the forecast issued two days earlier. Although the forecast shows a depression over Southern Germany, it is too weak, as are the corresponding pressure gradients and thus the winds. Figure 2c shows an experimental forecast, in which 40 extra observations over the North Atlantic have been used to improve the initial conditions. The depression is much deeper now, and consequently the pressure gradients and the winds are stronger. To be honest, the

40 extra „observations‰ have only been determined afterwards, and efforts have been made to select them as optimal as possible. Nevertheless, the example shows that with only 40 extra observations a much better warning would have been possible.

Of course the operational weather forecasting centers do not trust the incoming observations blindly. They check them intensively. For instance, it is checked whether they fit to each other (thus no air temperature of 30°C if the water temperature is 0°C), whether they agree with other observations (thus no „fair weather‰ if neighbouring ships report „gale with intensive rain‰), or whether they fit into the climatological picture (thus no 30°C in January near Scotland). Although these examples are a bit exaggerated, they do occur. Usually the reason is a typing error when coding the observations. The introduction of Turbo1 and later TurboWin largely reduced the number of this kind of severe errors.

Such a quality control can also go wrong. At the end of April 1993, the water along the European coasts was extremely warm. The automatic quality control disregarded all temperature observations (that warm - impossible at this time of the year!), resulting in forecasts that gave (much) too low temperatures over Western Europe. This episode underlines the importance of (the lack of) good observations. Of course, the quality control procedure was adjusted immediately.

The scientist

It is often said that *in-situ* observations are not needed any more because „there are satellites, aren't they?‰, and satellites are supposed to measure more and better. They are measuring more, sure, but better? Well, in principle also better, but one problem remains. The satellite and thus the instruments onboard are very far away, and you cannot calibrate them every now and then, as you do on earth (e.g., the barometer onboard a ship). The only possibility to find out whether the satellite instrument is still well performing is to compare its measurements with measurements done on earth. For this purpose ship observations are indispensable, for how else would you get a measurement of wind at sea? How important ship observations really are has recently been investigated for sea surface temperature by the American scientist Dick Reynolds. He found that six ship observations per 10-degree square are needed to keep the accuracy of satellite measurements within a limit of half a degree

Celsius. His results further show that such a density of observations is reached in most places, except for some tropical regions and for the area south of 40°S. Thus: Go ahead for the Roaring Forties!

The climatologist

Finally, there is the climatologist who regards observations to be important. The climatologist collects observations to determine what the weather (or the composition of sea water, or the strength of ocean currents, or \bar{y}) in a certain area *normally* looks like, and how it changes in the course of a year or on the long run. Long-term changes may for instance show whether the Earth is warming up because of the greenhouse effect. Indeed, Figure 3 displays an increase in temperature. Averaged over all oceans it amounts to 0.5°C during the last 50 years. There are, however, also areas where the temperature has decreased.

Knowing how large typical deviations from the mean are one can draw conclusions about the occurrence of extremes. For a lot of technical applications (e.g., oil platforms) it is important to know which maximum wave height or wind speed has to be expected. As an example Figure 4 shows the wave height that on average would occur only once in a century („100-year return wave height‰). The figure is based on a combination of model calculations and observations.

In any case it is important that measurements are done over a long period of time using the same method. Only after 1980 satellites became widespread. Therefore, ship observations remain important to obtain a good transition from the pre-satellite era. What can happen if a measurement method changes suddenly can be illustrated with sea surface temperature. Until shortly after WW II this quantity was measured by throwing a bucket into the sea, retrieving it filled with seawater and placing a thermometer in it. Depending on how long this process takes the water in the bucket can cool appreciably. Around 1947 this method was abandoned in favour of measuring the temperature at the cooling water intake. This change of measurement technique is visible as a jump in time series of sea surface temperature. Scientists are now breaking their heads on the question how to correct for this jump. To do so, they have to answer such interesting questions like How long does it take for water to cool in a bucket? Was the bucket made from wood or from canvas? Was it placed in the sun or in the shade? Well, sometimes science is like a mug's game!

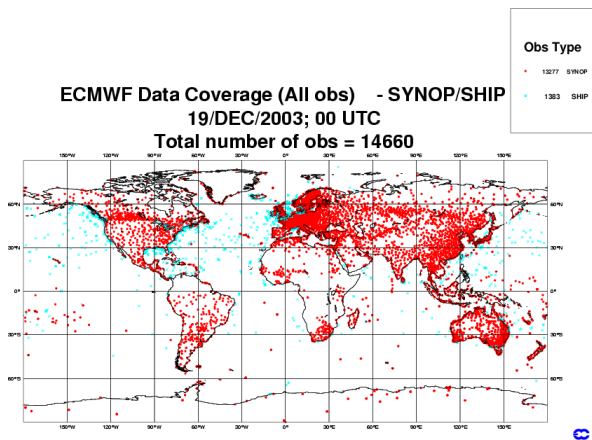
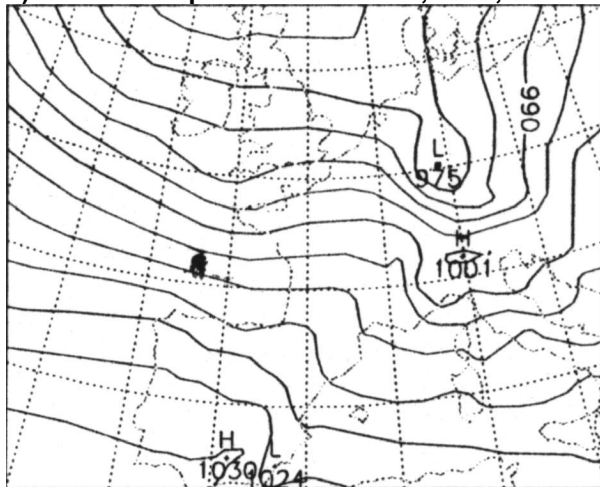
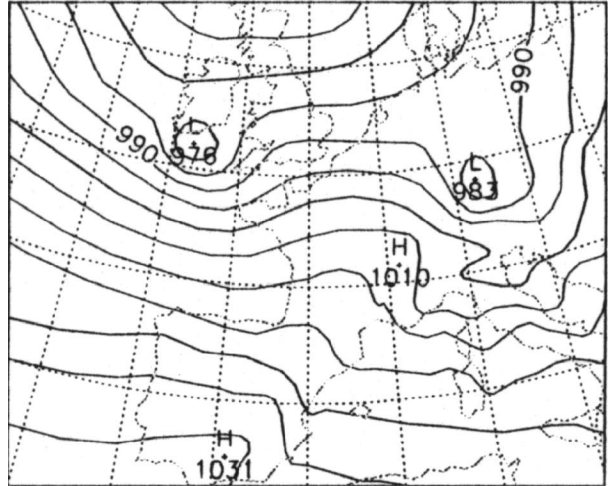


Figure 1: Position of observations from ships and land stations used for ECMWF's weather forecast on December 19, 2003, 00 UTC.

a) Weather map for December 26, 1999, 12 UTC



b) Forecast 48 hours ahead, valid Dec. 26, 1999



c) Improved forecast using more observations

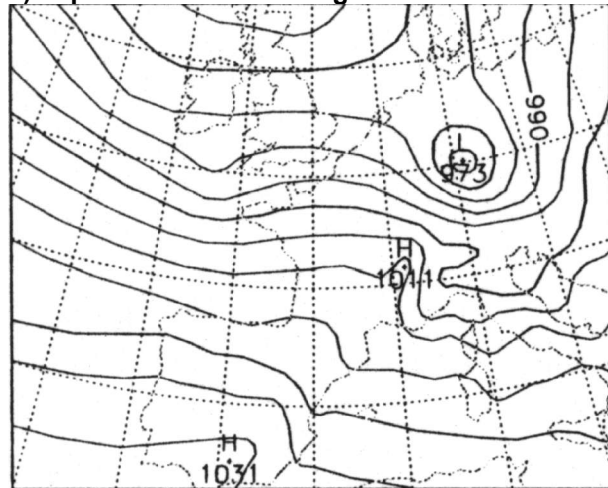


Figure 2: The impact of observations. a) weather map from December 26, 1999, 12 UTC, b) 48 hours forecast from ECMWF for the same time, and c) an improved forecast using only 40 (!) extra observations in the North Atlantic (from an article by M. Leutbecher and co-workers, published in Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 128, 2002, pp 1641-1670).

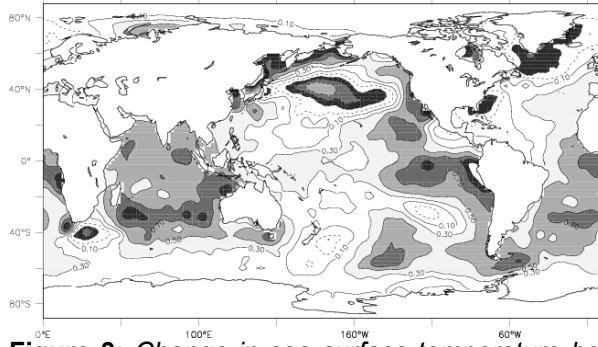


Figure 3: Change in sea surface temperature between 1950 and 2000 (in degree Celsius).

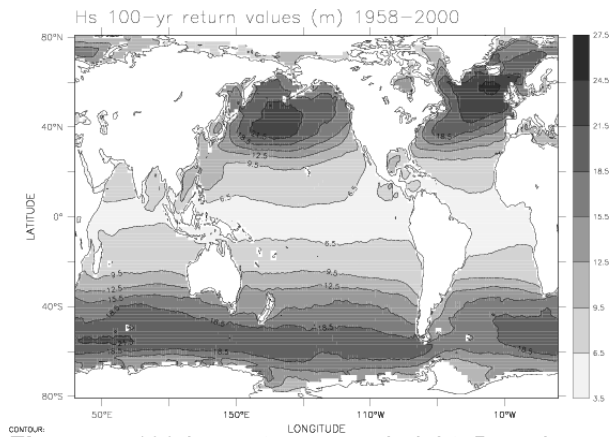


Figure 4: 100-jaar return wave height. Based on a combination of model results and observations.