

fronten e.d., zodat gek genoeg, zelfs een barotroop model gebruikt kan worden om temperatuurverwachtingen te maken. Dat Bleeker daar toch niet aan wilde! Ik word wakker uit mijn mijmeringen.

Het kwartje heeft de bodem bereikt. Een metalen computerstem roept uit het niets: "Uw wens is ongeldig". "U mag alleen iets over de toekomst wensen". "Het verleden overdoen valt onder een andere

afdeling".

1) Dat is de Fictieve Relatieve Topografie methode, in Meteorologica wel eens beschreven door B. Zwart (juni 2000 nr)

# Zoals de wind waait.... aan het eind van mijn loopbaan

GEERT GROEN (KNMI)

**Eind 2011 ga ik met vervroegd pensioen na een KNMI-loopbaan van bijna 45 jaar. De laatste jaren ben ik sterk betrokken geweest bij toegepast windonderzoek, een onderzoeksgebied dat zo prachtig is verbeeld in figuur 1. In dit afscheidartikel probeer ik een beeld te schetsen van mijn ervaringen met een aantal windonderzoeken met betrekking tot potentiële wind, ruwheidslengte en beschuttingsfactoren en de windkaart in de Bosatlas van het Klimaat 1981-2010. De onzekerheden van het windonderzoek waarbij ik betrokken was worden als mogelijke vragen voor mijn opvolger(s) neergezet.**

## Potentiële wind

Op de KNMI-website zijn reeksen potentiële wind beschikbaar [1]. Dit is de wind die gemeten zou zijn als de omgeving vrij van obstakels was. Prof. Jon Wieringa, de windautoriteit van Nederland en samen met Peter Rijkooft schrijver van "Windklimaat van Nederland" (Wieringa en Rijkooft, 1983) zegt er ongeveer het volgende over.

Voor windmasten is zelden een terrein beschikbaar dat in alle richtingen storingsvrij is, dat wil zeggen zonder vegetatie of gebouwde obstakels binnen een afstand van twaalf maal de obstakelhoogte. Een storingsvrije omgeving voor windmeting wordt wel aanbevolen door WMO en in de handboeken, maar is helaas beperkt beschikbaar (WMO 1996, KNMI 2006). Een methode voor de

correctie van windmetingen voor omgevingsstorings wordt gegeven door de ruwheidslengte ( $z_0$ ) die een maat is voor de begroeiing en bebouwing van het terrein aan de windzijde van de mast. De ruwheidslengte kan worden bepaald uit de vlagerigheid van de wind, dat is de verhouding tussen windstoot of standaarddeviatie en de gemiddelde wind (Wieringa, 1976). Uit de ruwheidslengte en de windmasthoogte wordt vervolgens een beschuttingscorrectiefactor (Exposure Correction Factor ECF) berekend. De gemeten windsnelheid moet met de ECF worden vermenigvuldigd om te weten welke windsnelheid op het station gemeten zou zijn als de omgeving ruwheidsvrij was. Deze gecorrigeerde windsnelheid heet potentiële wind en voldoet aan de WMO-norm. De meeste stations

staan in een inhomogene omgeving, en dan is de beschuttingscorrectie afhankelijk van de windrichting.

De methode van Wieringa (1986) is in het begin van deze eeuw verder uitgewerkt door Verkaik (2000, 2006) in het HYDRA-project [2] en in 2010 nog verder verfijnd door Wever en Groen (2009). In het midden van de jaren negentig heeft Benschop (1996) deze kennis ook gebruikt voor het bepalen van een hoogtecorrectie voor de gemiddelde wind en de windstoten op platforms ver boven 10 meter op zee. Later is deze correctie onterecht ook toegepast op enkele windmetingen boven standaardhoogte op land, inmiddels is dit in mei 2011 teruggedraaid.

De potentiële wind is dus te berekenen uit de vlagerigheid van de gemeten wind en wordt weergegeven door de ruwheidslengte. De verhouding tussen de potentiële wind ( $U_p$ ) en de gemeten wind ( $U_m$ ) is de beschuttingscorrectiefactor (ECF):

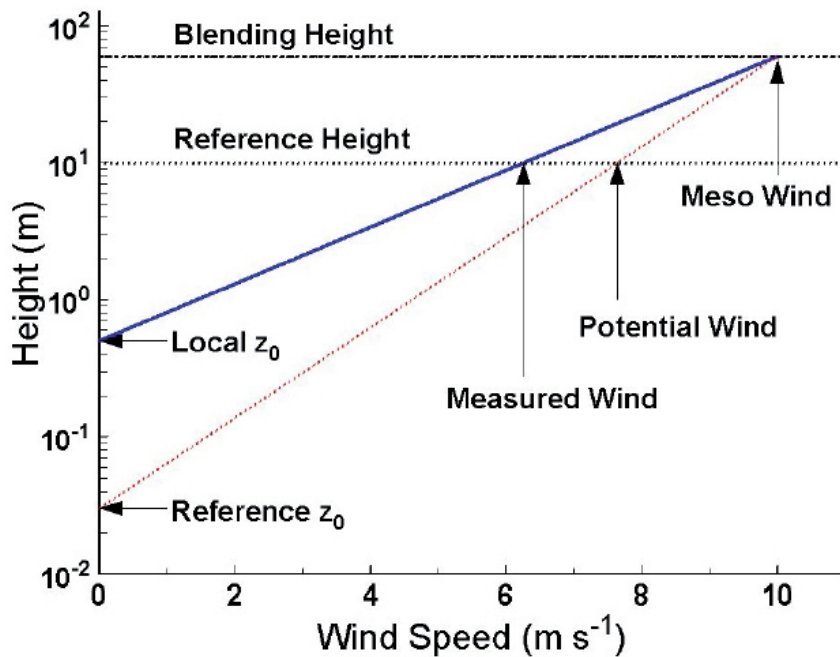
$$ECF = \frac{U_p}{U_m} = \frac{\ln(z_b/z_o) * \ln(z_r/z_{or})}{\ln(z_m/z_o) * \ln(z_b/z_{or})}$$

Hierbij is  $Z_b$  de zogenaamde "blending height" (m),  $Z_m$  de sensorhoogte (m),  $Z_r$  de referentiehoogte (10 m),  $Z_o$  de lokale ruwheidslengte en  $Z_{or}$  de referentie ruwheidslengte.

In figuur 2 is te zien dat de ruwheidslengte de theoretische hoogte is waarop de windsnelheid bij een logaritmisches windprofiel 0 m/s wordt. De ECF wordt bepaald bij windsnelheden die de grenslaag voldoende mengen (op land bij windsnelheden boven 4 m/s). In de



Figuur 1. Houtsneede uit W. Scheidig, 1955. Het origineel dateert uit 1532.



Figuur 2. Het transformatieproces van gemeten wind met lokale ruwheidslengte naar potentiële wind met standaard ruwheidslengte onder neutrale condities.

dan heersende neutrale stabiliteitsopbouw kan de toename van de windsnelheid met de hoogte worden beschreven met een logaritmisch windprofiel. Eerst wordt de lokale ruwheid bepaald uit de vlaaganalyse. Dan wordt met de lokale ruwheidslengte en de gemeten windsnelheid (hier meethoogte van 10 meter) de zogenaamde mesowind bepaald op 60 meter. Op deze hoogte (de “blending height”) zijn de invloeden van lokale ruwheidskenmerken op de vlaggerigheid van de wind niet meer merkbaar. Vervolgens wordt teruggekeerd naar het refentievlak (hier ook 10 meter) en naar een referentie ruwheidslengte van 3 cm (WMO-standaard boven grasland). ECF is dan de factor tussen de gemeten en de potentiële wind.

### Windkaart

Voor de klimaatatlas 1981-2010 is een windkaart gemaakt uit stationsreeksen potentiële wind [1], zie figuur 3. Deze kaart is ontwikkeld met behulp van een twee-lagen model en met de reeksen potentiële wind en met ruwheidsinformatie uit kaarten van het landgebruik. De methode is ontwikkeld door Wieringa (1986) en in het HYDRA-project verfijnd door Job Verkaik [2] met behulp van landgebruikskaarten. Verkaik heeft dit toegepast voor een windkaart op 100 meter hoogte voor windturbines [3].

Recent is deze methode door Stepek en Wijnant (2010) getest en toegepast voor de windkaart op 10 meter hoogte voor de klimaatperiode 1981-2010. Uit

validatie blijkt dat de windkaart voor de gemiddelde plaatselijke windsnelheid een gemiddelde fout heeft die kleiner is dan 0.5 m/s. Dit is volgens Wieringa aanvaardbaar voor een atlas, waarin deze grootheid wordt gegeven in klassen van 0.5 m/s en een pixelgrootte van 2 tot 3 km om recht te doen aan de bijbehorende onzekerheid.

Met deze windkaart is ook een wens van professor Wieringa om zijn werk uit de jaren tachtig toe te passen op windklimaat kaarten in vervulling gegaan en worden aanbevelingen voor verder onderzoek door hem gestimuleerd.

### Beschuttingsfactoren uit twee vlaaganalyses

Bij onderzoek naar extreme wind voor waterveiligheid ontdekten Wever en Groen (2009) dat in de berekeningen van de ECF een overschatting zat in de winter in bij noordwestelijke windrichtingen. Voor individuele stations liep die overschatting op van 15 tot 20%. Het bleek dat, ook bij windsnelheden boven 4 m/s, in de winter de stabiliteit een demping van de uurgemiddelde wind boven land kan veroorzaken (en daarmee vergroting van de ECF). Bij een NW aanvoerrichting is vaak sprake van advection van polaire lucht van noordelijke breedte, waarin boven land door afkoeling de kans op (licht) stabiele opbouw in een uurvak toeneemt met daardoor meer demping van de gemiddelde wind. Toepassing van een kortere midde-lingperiode (bijvoorbeeld 10 minuten)

reduceert dit effect en gebruik van de standaarddeviatie van de windsnelheid over die kortere periode geeft een betere correctie. We hebben die correctie vastgesteld en het blijkt dat de systematische overschatting van de ECF in de noordwestelijke richting beperkt wordt (figuur 4), hoewel het afwijkende signaal niet helemaal wordt gedempt.

Wever en Groen (2009) geven een beschrijving van de theorie over potentiële wind en details van deze correctie. In de nabije toekomst zullen door het KNMI reeksen potentiële wind met een correctie voor deze overschatting beschikbaar worden gesteld.

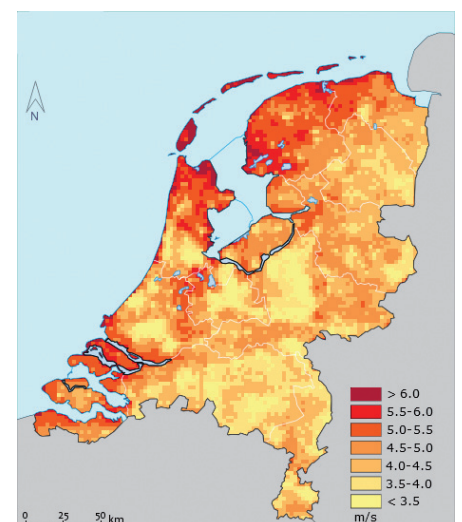
### Profielonderzoek

Uit windsnelheden op meerdere niveaus ( $z = m$  en  $z = h$ ) is het ook mogelijk om de ruwheidslengte te berekenen met

$$\frac{U_h}{U_m} = \frac{\ln(z_h/z_o)}{\ln(z_m/z_o)}$$

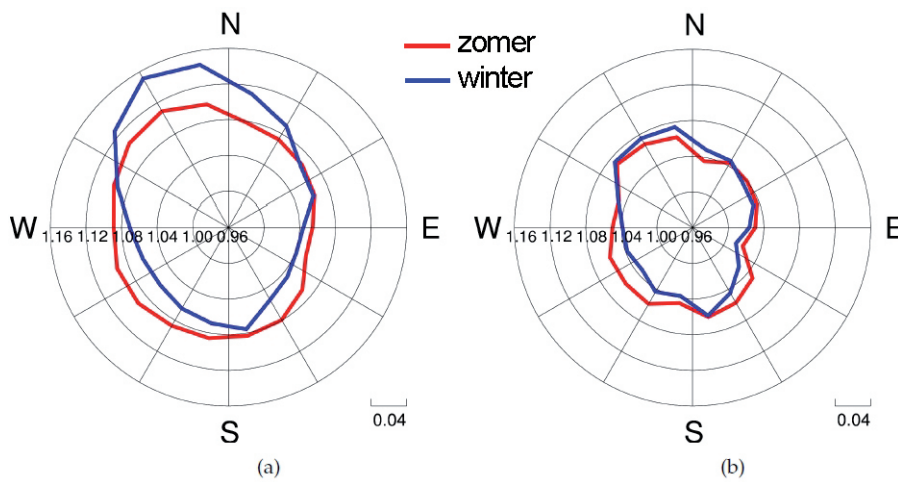
hierbij is  $U_x$  de windsnelheid op hoogte  $x$  ( $x=h$  of  $x=m$ ) en  $Z_o$  de ruwheidslengte. Vanaf 2005 is data beschikbaar van een meteo-mast van het Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) met windmetingen op 21, 70 en 116 meter [4]. Het OWEZ is het eerste grote windpark dat in de Noordzee voor de Nederlandse kust is gebouwd. Het park ligt 10 tot 18 kilometer uit de kust en bestaat uit 36 windmolens met ieder een vermogen van 3 MW. Het park levert duurzame elektriciteit voor meer dan 100.000 huishoudens. Met deze data is de gemiddelde windsnelheid en trend bekeken en een aansluitend ruwheidsonderzoek uit windprofielen uitgevoerd.

Het gemiddelde van de maandgemiddelde windsnelheid op 21 meter is 8,1 m/s, op 70 meter 9,1 en op 116 meter 9,5



Figuur 3. De jaargemiddelde windsnelheid op 100 meter hoogte boven open terrein, klimaatperiode 1981-2010.





Figuur 4. Roosplots van gemiddelde beschuttingscorrectie-factoren ECF voor alle landstations voor (a): 1 uur en (b): tien-minuten vlaaganalyse.

m/s in de periode juli 2005 tot december 2011. Vanaf 2005 is een niet-significante licht dalende trend zichtbaar (figuur 5) vooral veroorzaakt door een rustige herfst in 2008. Voor windsnelheden boven 4 m/s op 21 meter hoogte blijkt de wind op 21 meter gemiddeld 88% te zijn t.o.v. de wind op 70 meter en 86% van de windsnelheid op 116 meter hoogte. Met formule (2) is hieruit af te leiden dat de gemiddelde ruwheidslengte 0,5 mm is, dit is verrassend laag. Het lopende gemiddelde varieert tussen ruim 40 cm en minder dan 0,01 mm. De gemiddelde ruwheidslengte is daarmee aanmerkelijk lager dan wordt aangenomen in het Hydra-project, 2 mm. De variatie van de ruwheidslengte zou het gevolg kunnen zijn van stabiliteit.

In figuur 6 wordt daarom voor de periode januari-maart 2006 de windsnelheidsverhouding weergegeven van de tienminuut-gemiddelde windsnelheid op 70 en 21 meter hoogte, alsmede het lopende gemiddelde over 200 datapunten. De data zijn hier gerangschikt op verschil van zeewatertemperatuur en luchttemperatuur, dus van stabiel (links) naar onstabiel, het omslagpunt (neutraal) ligt ongeveer bij datapunt 3000. In stabiele situaties (zeewater kouder dan de temperatuur op 21 meter) is de variatie in de gemiddelde verhouding van de windsnelheden (en afgeleide ruwheidslengte) veel groter dan in onstabiele situaties. Figuur 6 toont dat de verhouding van de windsnelheden op 70 en 21 meter onder de meest stabiele omstandigheden tussen 1,1 en 1,8 ligt. In een niet getoonde case-studie van de storm van 18 januari 2007 trad een variatie tussen beide windsnelheden op binnen één uurvak van 0,97 en 1,66 bij een temperatuurverschil tussen lucht en zee van 6,3 graden. Het is daarvoor lastig om potentiële wind te bereke-

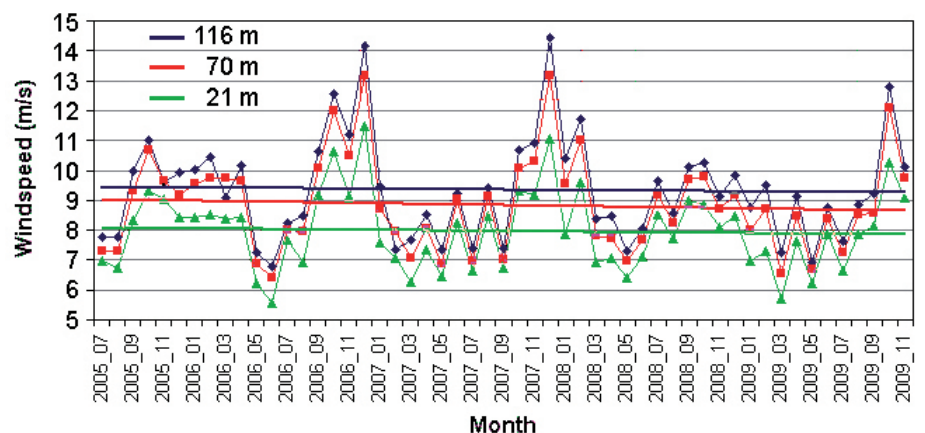
nen voor niet-neutrale omstandigheden.

Bij deze analyse zijn uiteraard een hoop vragen te stellen, zoals de variatie in hoogte door de variatie van het zeeoppervlak, de representativiteit van de temperatuur van de zee vier meter onder NAP, lijfeffecten langs de meteo-mast, etc. Desondanks geeft zo'n onderzoek een goede indruk van de mogelijkheden om onderzoek te doen naar beschuttingsfactoren en ruwheidslengte boven water in aanvulling op dergelijk onderzoek boven land met de meetgegevens van Cabauw.

#### Toekomstvragen

Gaandeweg de diverse onderzoeken zijn er een aantal vragen opgedoken:

1. Kan een tweelagen-model de overgang van wind boven water naar wind boven land en vice-versa realistisch beschrijven?
2. Kan in de vlaaganalyse de rol van stabiliteit beter worden beantwoord?
3. Kan kennis van ruwheidslengte (beter) worden gebruikt voor hoogtecorrectie van windmetingen boven 10 meter?
4. Spelen variërend zeeoppervlak en windgedreven ruwheid een rol bij de bepaling van potentiële wind?



Figuur 5. Maandgemiddelde windsnelheid en lineaire trend op OWEZ-windmetingen van 21 meter, 70 meter en 116 meter hoogte in de periode juli 2005-december 2009.

5. Wordt in numerieke modellen onder stabiele omstandigheden in voldoende mate een stabiliteitscorrectie voor wind toegepast in combinatie met de veranderende ruwheid van het zeeoppervlak (nog even afgezien van het effect daarvan op golfopwekking)?

Voortgaand onderzoek op het gebied van fundamentele kennis van wind, windprofiel en ruwheid blijft gewenst en biedt voor de betrokken onderzoekers veel kansen om te publiceren.

#### Tot besluit

Aan het eind van 2011 komt na 44,5 jaar een einde aan mijn actieve loopbaan bij het KNMI. Ik ben begonnen op 1 juli 1967 als rekenaar bij de Klimatologische Dienst.

In 1972 kwam ik met mijn afgeronde avond-HBS-B als luchtvaartvoorlichter op Meteo Schiphol. In 1978 werd ik hoofdmeteoroloog en later hoofd bij Meteo Rotterdam. In de jaren 1989-1995 heb ik leiding mogen geven aan Meteo Schiphol, daarna heb ik tien jaar gewerkt als guidance meteoroloog op de weerkamer in De Bilt. De laatste vijf jaar kreeg mijn langjarige operationele ervaring een grote verdieping als adviseur/onderzoek bij de afdeling Klimaatdata- en advies. Mijn gemis aan academische opleiding werd gecompenseerd door een niet aflatende interesse in organisatie, wetenschap en toepassingen.

Vele onderwerpen hebben mij bij KS-KA bezig gehouden: extreme neerslag, ijsvorming, bovenlucht klimatologie, gevoelstemperatuur, maar vooral potentiële wind en windextremen.

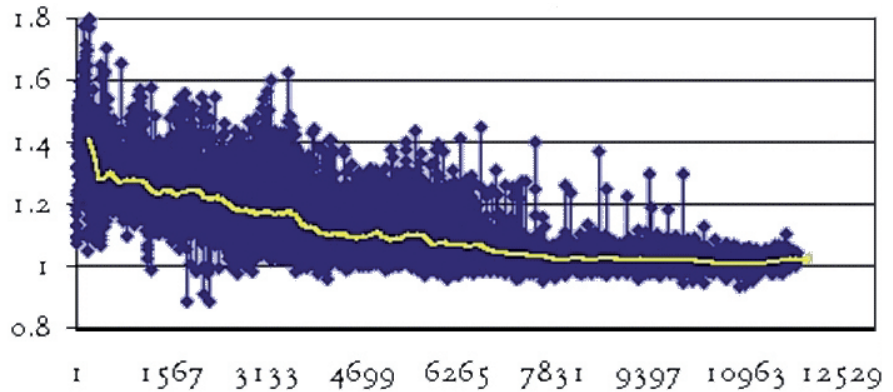
De samenwerking met vele collega's van KNMI, Waterdienst, Deltares, NVBM, weerproviders en gebruikers was erg fijn. Enkele mensen wil ik daarbij, zonder anderen tekort te willen doen, noemen: Arnout Feijt, Rob Sluijter, Jon Wieringa, Job Verkaik, Hans de Waal,

Sofia Caires, Douwe Dillingh, Fred Bosveld, Peter Baas, Nander Wever, Robert Mureau, Henk van de Brink, Peter van Eecen, Andrew Stepek, Ine Wijnant, Mieke Reijmerink, Henk van Oel, Engel Andriessen, Leo Kroon, Heleen ter Pelkwijk, en vele, vele anderen.

Zoals de wind waait.....het ga u allen goed.

**Literatuur**

Benschop H., 1996: Windsnelheidsmetingen op zeestations en kuststations: herleiding waarden windsnelheid naar 10-meter niveau. KNMI-TR-188.  
 KNMI, 2006: Handboek waarnemingen.  
 Stepek A. en Wijnant, I., 2010: Windkaart 1981-2010, Rapport in opbouw.  
 Verkaik J.W., 2000 : Evaluation of two gustiness models for exposure correction calculations. J. Appl. Meteor. 39, 1613-1626.  
 Verkaik J.W., 2006: On wind and roughness over land. Proefschrift Univ. Wageningen.  
 Wever N., Groen G., 2009: Improving potential wind for extreme wind statistics. KNMI-WR-2009-02



Figuur 6. Verhouding tussen OWEZ-windsnelheden van 70 en 21 meter hoogte, gerangschikt van stabiele naar onstabiele situaties. Simultane tien-minuten-data bij windsnelheden boven 4 m/s.

Wieringa J., 1976: An objective exposure correction method for average wind speeds measured at a sheltered location. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 102, 241-253.  
 Wieringa J., Rijkooft P.J., 1983: Windklimaat van Nederland. Staatsuitgeverij, Den Haag, 263 pp.  
 Wieringa J., 1986: Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 112, 867-889.  
 WMO, 1996: References World Meteorological Organization Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No.8, 6th edition.  
 [1] www.klimaatatlas.nl  
 [2] www.knmi.nl/samenw/hydra  
 [3] www.senternovem.nl/mmfiles/Windkaart%20van%20Nederland\_tcm24-201743.pdf  
 [4] www.noordzeewind.nl

# De koudegolven van de toekomst

HYLKE DE VRIES (KNMI)

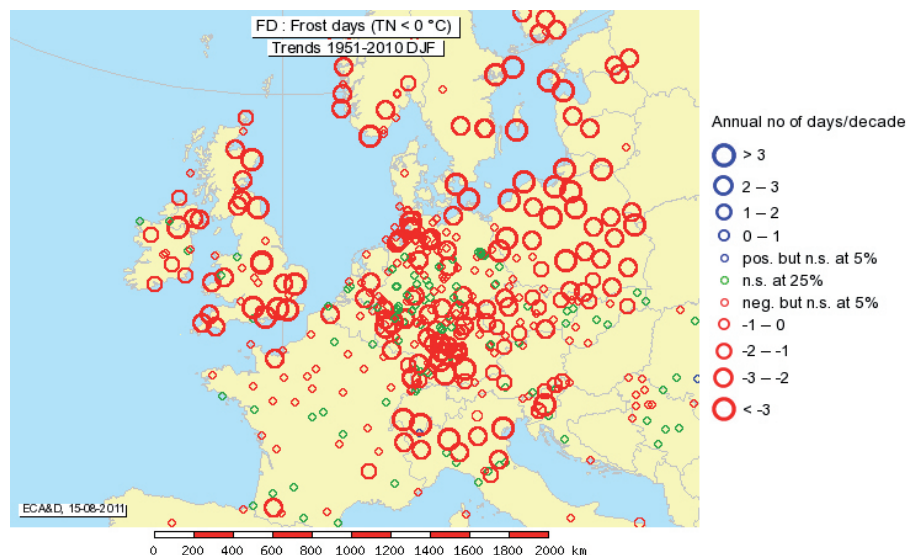
**Klimaatstudies laten veelal zien dat in een globaal opwarmend klimaat de winters in Nederland ook aanzienlijk warmer zullen worden. Niet alleen gemiddeld zullen de winters warmer worden, strenge winters zullen ook minder vaak voorkomen. Over de precieze hoeveelheid opwarming verschillen de modellen onderling nog behoorlijk. In dit artikel bestuderen we klimaatmodellsimulaties op veranderingen van 'relatieve' kou.**

Kou is een relatief begrip. Wat voor de één reeds als herfst aanvoelt, ervaart een ander nog als zomer. In Rusland klaagt men niet als het in de winter -15°C wordt; hier in Nederland komt de maatschappij praktisch tot stilstand. De menselijke ervaring en beleving van kou hangt af van het klimaat waarin men leeft. Daarom zullen we ook in de toekomst koude periodes blijven beleven. Helaas voor de schaatsers onder ons: voor ijsvorming heeft men alleen wat aan 'absolute' kou. Bij +1°C, hoe waterkoud het ook aanvoelt, krijgen we geen ijs.

Traditioneel worden in Nederland in de winter het aantal ijsdagen en vorstdagen bijgehouden. Deze meten respectievelijk het aantal dagen dat de temperatuur de gehele dag of gemiddeld onder het vriespunt ligt. Het zogenaamde Hellmann getal is ook belangrijk. Dit is het getal dat je krijgt door de som van de gemiddelde etmaaltemperaturen onder nul bij elkaar op te tellen en het minteken weg te halen. Het Hellmann getal, dat in milde winters kleiner is dan 50, maar in zeer strenge winters kan oplopen tot 300, geeft een maat voor de totale hoeveel-

heid kou, of 'strengheid' van een winter [1]. Er zijn inmiddels vele observationele studies verschenen die laten zien dat er in deze getallen reeds enige tijd een dalende trend zit, en dat niet alleen voor Nederland. Als voorbeeld dient figuur 1 die is ontleend aan [2]. Ook modellsimulaties, waarin mogelijke toekomstscenario's worden gerealiseerd

met behulp van geavanceerde klimaatmodellen, laten vrijwel unaniem verdere afnamen zien van deze getallen. Een voorbeeld: in een vrij recente simulatie met het klimaatmodel van het Max Planck Instituut in Hamburg, het zogenaamde Essence ensemble (Sterl et al., 2008), wordt een toekomstig klimaat gesimuleerd dat niet al te sterk opwarmt.



Figuur 1. Lineaire trend in het aantal vorstdagen per decade (negatief betekent afname), berekend over de periode 1951-2010. Bron: eca.knmi.nl.